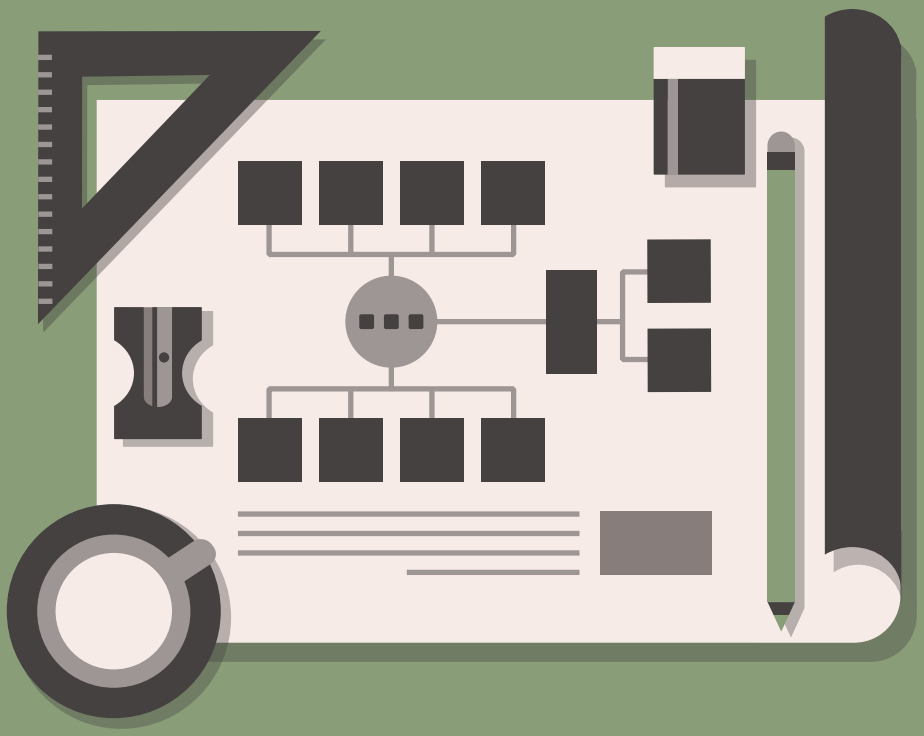


هياكل البيانات للمبرمجين

تأليف

Allen B. Downey

ترجمة

رضوى العربي

أكاديمية حسوب

هياكل البيانات للمبرمجين

مرجع عملي إلى هياكل البيانات والخوارزميات يحتاج إليه كل مهندس برمجيات

اسم الكتاب: هياكل البيانات للمبرمجين

المؤلف: آلن ب. دوني

المترجم: رضوى العربي

المحرر: جميل بيلوني – مصطفى المحمود

تصميم الغلاف: سيرين ديرانية

سنة النشر: 2023

رقم الإصدار: 1.0

Book Title: Think Data Structures

Author: Allen B. Downey

Translator: Radwa Elaraby

Editor: Jamil Bailony - Mostafa Almahmoud

Cover Design: Sirin Diraneyya

Publication Year: 2023

Edition: 1.0

https://academy.hsoub.com

academy@hsoub.com

عن الناشـر

أُنتج هذا الكتاب برعاية شركة حسوب وأكاديمية حسوب.

تهدف أكاديمية حسوب إلى تعليم البرمجة باللغة العربية وإثراء المحتوى البرمجي العـربي عـبر توفـير دورات برمجة وكتب ودروس عالية الجودة من متخصصين في مجال البرمجة والمجالات التقنية الأخـرى، بالإضـافة إلى توفير قسم للأسئلة والأجوبة للإجابة على أي سؤال يواجه المتعلم خلال رحلته التعليمية لتكون معه وتؤهلـه حـتى دخول سوق العمل.

حسوب شركة تقنية في مهمة لتطوير العـالم العـربي. تبـني حسـوب منتجـات تركِّز على تحسـين مسـتقبل العمل، والتعليم، والتواصل. تدير حسوب أكبر منصتي عمل حر في العالم العربي، مستقل وخمسات ويعمل في فيها فريق شاب وشغوف من مختلف الدول العربية.

دورة علوم الحاسوب

مميزات الدورة

- بناء معرض أعمال قوي بمشاريع حقيقية
- وصول مدى الحياة لمحتويات الدورة
- تحديثات مستمرة على الدورة مجانًا
- شهادة معتمدة من أكاديمية حسوب
- إرشادات من المدربين على مدار الساعة
- من الصفر دون الحاجة لخبرة مسبقة

اشترك الآن

المحتويات باختصار

جدول المحتويات

تمهيد

عن الكتاب

هذا الكتاب مترجم عن الكتاب الشهير Think Data Structures لمؤلفه Allen B. Downey والذي يعد مرجعًا عمليًا في شرح موضوعي هياكل البيانات والخوارزميات اللذين يحتاج إلى تعلمهما كل مبرمج ومهندس برمجيات يتطلع إلى احتراف مهنته وصقل عمله ورفع مستواه.

فلسفة الكتاب

تُعدّ هياكل البيانات data structures والخوارزميات algorithms واحدةً من أهم الاختراعات التي وقعت بالخمسين عامًا الأخيرة، وهي من الأدوات الأساسية التي لابُدّ أن يدرسها مهندسي البرمجيات. غالبًا ما تكون الكتب المتناولة لتلك الموضوعات -وفقًا للكاتب- ضخمةً للغاية، كما أنها عادةً ما تُركّز على الجانب النظري، وتتبع نهج "من أسفل لأعلى" بشكل مفرط.

- **نظرية للغاية**: يعتمد التحليل الحسابي للخوارزميات على افتراضات تبسيطية تَحِدّ من فائدتها من الناحية العملية. تتناول الكثير من المصادر هذا الموضوع، ولكنها عادةً ما تُركّز على الجانب الحسابي وتُغفِل تلك الافتراضات التبسيطية. في المقابل، يُركزّ هذا الكتاب على الجانب الأكثر عملية من هذا الموضوع ويتجاهل بقية الأجزاء.
- **ضخمة للغاية**: عادةً ما يَصِل عدد صفحات الكتب التي تتناول هذا الموضوع إلى 500 صفحة على الأقل، بل يَبلُغ البعض منها أكثر من 1000 صفحة. بالتركيز على الجوانب التي يراها الكاتب أكثر أهميةً لمُهندسي البرمجيات، لا يتعدى هذا الكتاب 200 صفحة.

- **نهج "من أسفل لأعلى" مفرط**: تهتم كثير من كتب هياكل البيانات بطريقة عمل هياكل البيانـات (أي طريقــة تنفيــذها implementations)، ولا تُعطِي نفس الأهميــة لطريقــة اِســتخدَامها (الواجهــات interfaces). يَتبِـع هـذا الكتـاب أسـلوبًا مختلفًـا، حيث يعتمـد على نهج "من أعلى لأسـفل"، فيبـدأ بالواجهات، وبالتالي يتمكَّن القراء من تعلُّم كيفية استخدام الهياكل المتاحة بإطار عمل جافا للتجميعـات Java Collections Framework قبل أن يتعمقوا بفهم تفاصيل طريقة عملها.

أخيرًا، تُقدِّم بعض الكتب هذه المادة العلمية بدون سياق واضح وبدون أي حـافز، فتَعـرِض الهياكـل البيانيـة واحدةً تلو الأخرى. يحاول هذا الكتاب تنظيم الموضوعات نوعًـا مـا من خلال التركـيز على تطـبيق مُحـدّد -محـرك بحث-، ويَستخدِم هذا التطبيق هياكل البيانات بشكل مكثف، وهو في الواقع موضوع مهم وشيق بحد ذاته.

في الحقيقة، سيدفعنا هذا التطبيق إلى دراسة بعض الموضوعات التي ربما لن تتعرَّض لها ببعض الفصول الدراسـية التمهيديـة الخاصـة بمـادة هياكـل البيانـات، حيث سـنتعرَّض هنـا مثلًا، لحفـظ هياكـل البيانـات persistent data structure مثل Redis.

اضطرّ الكاتب لاتخاذ بعض القرارات الصعبة المتعلقـة بمـا ينبغي ألا يتضـمَّنه الكتـاب، وتوصّـل إلى حلـول وسط في العموم، إذ يتضمَّن الكتاب القليل من الموضوعات التي لن يحتاج معظم القراء إلى استخدامها إطلاقًا، ولكنها مع ذلـك مهمـة، فغالبًـا مـا سـيتوقَّع البعض منـك معرفتهـا، خاصـةً بمقـابلات العمـل. وبالنسـبة لتلـك الموضوعات، سيطرح الكاتب المادة العلمية طرحًـا تقليـديًا، كمـا يَمزِجـه ببعض من آرائـه الخاصـة ليـدفعك إلى التفكير النقدي.

يُقدِّم الكتاب أيضًـا بعض الأساسـيات الـتي تُمـارَس عـادةً بهندسـة البرمجيـات، بمـا في ذلـك نظم التحكُّم بالإصدار version control، واختبار الوحدات unit testing. تتضمَّن غالبية فصول الكتاب تمرينًا يَسمَح للقراء بتطبيق ما تعلموه خلال الفصل، حيث يُوفِّر كل تمرين اختبارات أوتوماتيكية لفحص الحل، وبالإضـافة إلى ذلـك، يُوفِّر الكاتب حلًا لغالبية التمارين ببداية الفصل التالي.

المتطلبات الأساسية

هـذا الكتـاب مُخصَّـص لطلبـة الجامعـات بمجـال علـوم الحاسـوب والمجـالات المرتبطـة بـه، ولمهندسـي البرمجيات المحترفين، وللمتدربين بمجال هندسة البرمجيـات، وكـذلك للأشـخاص الـذين يسـتعدون لمقـابلات العمل التقنية.

ينبغي أن تكون على معرفة جيدة بلغة البرمجة جافا قبل أن تبدأ بقراءة هذا الكتاب. وبالتحديد، لابُدّ أن تَعرِف كيف تُعرِّف صنفًا class جديدًا يمتدّ extend أو يرث من صنف آخر موجود، إلى جـانب إمكانيـة تعريـف صـنف يُنفِّذ واجهة interface. إذا لم تكن لديك تلك المعرفة، فيُمكِنك البدء بأي من الكتابين التاليين:

- Downey and Mayfield, Think Java (O'Reilly Media, 2016): مُخصَّص للقراء الذين لا يملكون أي خبرة بالبرمجة.
- Sierra and Bates, Head First Java (O'Reilly Media, 2005): مناسب للقراء الذين لديهم اطلاع على لغة برمجية أخرى فعليًا.

إذا لم تكن الواجهات interfaces بلغة جافا مألوفةً بالنسبة لك، فيُمكِنك قراءة درس ما المقصود بالواجهة؟.

ملحوظة متعلقة بالمصطلحات

قد تكون كلمة واجهة interface مربكةً بعض الشيء. تشير تلك الكلمة ضمن عبارة واجهة تطوير التطبيقات application programming interface إلى مجموعة من الأصناف classes والتوابع methods التي تُوفِّر إمكانيات محددة.

علاوةً على ذلك، تشير تلك الكلمة بلغة جافا إلى خاصية ضمن اللغة. تُشبه تلك الخاصية الأصناف وتُخصِّص مجموعة من التوابع، ولكي نتجنَّب الخلط بينهما، سنَستخدِم كلمة واجهة بنمط الخط العادي للإشارة إلى الفكرة العامة للواجهة، بينما سنَستخدِم كلمة `interface` بنمط خط الشيفرة للإشارة إلى تلك الخاصية.

بالإضافة إلى ما سبق، ينبغي أن تكون على علم بكلّ من معاملات الأنواع type parameters والأنواع المُعمَّمة generic types. على سبيل المثال، ينبغي أن تَعرِف كيف تُنشِئ كائنًا باستخدام معامل نوع مثل `ArrayList<Integer>`، وإن لم يكن ذلك مألوفًا بالنسبة لك، فيُمكِنك القراءة عن معاملات الأنواع.

ينبغي أن تكون على دراية أيضًا بإطار عمل جافا للتجميعات JCF. بالتحديد، لابُدّ أن تكون على معرفة بالواجهة `List` وبالصنفين `ArrayList` و `LinkedList`.

من الأفضل لو كنت قد سمعت عن أداة Apache Ant، وهي أداة بناء أوتوماتيكية للغة جافا، كما ينبغي أن تكون على معرفة بإطار عمل جافا لاختبار الوحدات JUnit.

0.1: العمل مع الشيفرة

تتوفَّر شيفرة هذا الكتاب بـ مستودع Git. يُعدّ Git نظام تحكم بالإصدار يَسمَح لك بتعقُّب الملفات التي يتكوَّن منها مشروع معين، ويُطلَق اسم مستودع repository على مجموعة الملفات التي يتحكَّم بها ذلك النظام.

يُعدّ GitHub خدمة استضافة تُوفِّر مساحة تخزين لمستودعات Git مع واجهة إنترنت مناسبة، كما تُوفِّر أساليب متعددة للعمل مع الشيفرة، منها:

- يُمكِنك أن تُنشِئ نسخةً من مستودع مُخزَّن بـ GitHub من خلال النقر على زر"اشتق Fork". إذا لم يكن لديك حساب على الموقع فعلًا، فستحتاج أولًا إلى إنشائه، وبعد إجراء الاشتقاق ستحصل على نسختك من المستودع على GitHub، والتي تستطيع أن تَستخدِمها لتعقب الشيفرة التي ستكتبها بنفسك. بهذا يكون قد أصبح بإمكانك نسخ المستودع أي تحميل نسخة من ملفاته إلى حاسوبك.
- يُمكِنك أيضًا نسخ المستودع بدون الاشتقاق. إذا اخترت تلك الطريقة، فلن تكون بحاجة لإنشاء حساب GitHub، ولكنك لن تتمكَّن من حفظ تعديلاتك على الموقع.
- إذا لم تكن ترغب باستخدام Git على الإطلاق، فيُمكِنك أن تُحمِّل الشيفرة بهيئة مجلد أرشيفي ZIP باستخدام زر "حمِّل Download" بصفحة GitHub أو عبر الرابط http://thinkdast.com/zip وبعدما تنتهي من نسخ المستودع أو فك ضغط المجلد الأرشيفي، ستجد مجلد اسمه ThinkDataStructures، وستجد بداخله مجلدًا فرعيًا اسمه code.

لقد صُممَّت أمثلة هذا الكتاب واُختبرَت باستخدام الإصدار السابع من عدة تطوير جافا Java SE Development Kit. إذا كنت تَستخدِم إصدارًا أقدم، فقد لا تَعمَل بعض الأمثلة؛ أما إذا كنت تَستخدِم إصدارًا أحدث، فينبغي أن يَعمَل جميعها بشكل سليم.

المساهمون

هذا الكتاب عبارة عن نسخة مُعدَّلة من منهج دراسي كتبه المؤلف لمدرسة فلاتريون Flatiron بمدينة نيويورك. تُقدِّم تلك المدرسة العديد من الدورات المتعلقة بالبرمجة وتطوير الويب عبر الإنترنت، كما أنها تُقدِّم دورةً مبنيةً على مادة هذا الكتاب. تُوفِّر تلك الدورة بيئة تطوير عبر الإنترنت، ومساعدة من المدربين والطلاب الآخرين، بالإضافة إلى شهادة إكمال الدورة.

يُوجِّه المؤلف شكره إلى كل من جو بيرجس Joe Burgess وآن جون Ann John وتشارلز بليتشر Charles Pletcher بمدرسة Flatiron، الذين وفروا التوجيه والاقتراحات والتعديلات بدايةً من التصورات الأولية، وانتهاءً بالتنفيذات والاختبارات.

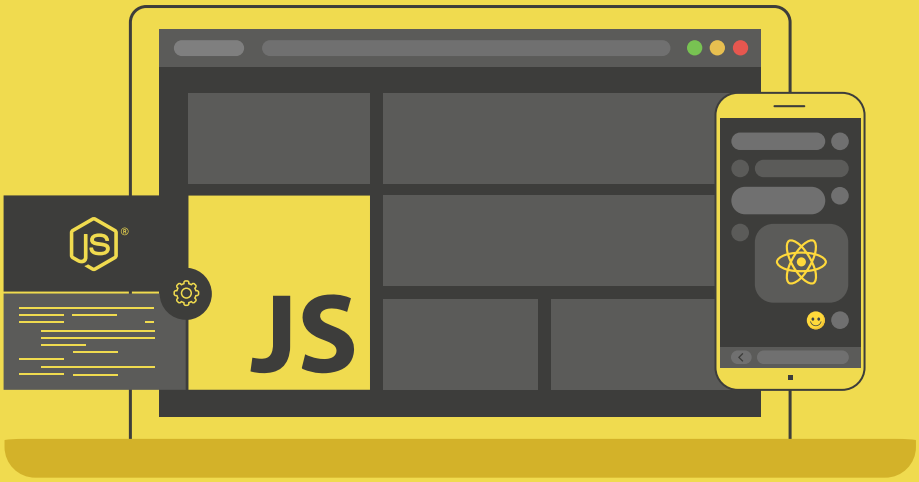
يمتن المؤلف لمراجعيه التقنيين باري ويتمان Barry Whitman وباتريك وايت Patrick White وكريس مايفيلد Chris Mayfield الذين قدموا إليه الكثير من الاقتراحات المفيدة وعثروا على الكثير من الأخطاء، وبالطبع أي أخطاء متبقية فهي من خطأ المؤلف وليس خطأهم.

يشكر المؤلف مدربين وطلاب دورة هياكل البيانات والخوارزميات بكلية Olin الذين قرؤوا الكتاب وأرسلوا إليه رأيهم المفيد.

المساهمة

يرجى إرسال بريـد إلكـتروني إلى academy@hsoub.com إذا كـان لـديك اقـتراح أو تصـحيح على النسـخة العربية من الكتاب أو أي ملاحظة حول أي مصطلح من المصطلحات المسـتعملة. إذا ضـمَّنتَ جـزءًا من الجملـة التي يظهر الخطأ فيها على الأقل، فهذا يسهِّل علينا البحث، ونشكرك أيضًا إن أضفت أرقام الصفحات والأقسام.

دورة تطوير التطبيقات
باستخدام لغة JavaScript



احترف تطوير التطبيقات بلغة جافا سكريبت
انطلاقًا من أبسط المفاهيم وحتى بناء تطبيقات حقيقية

التحق بالدورة الآن

1. الواجهات Interfaces

يُقدِّم هذا الكتاب ثلاثة موضوعات:

- هياكل البيانات Data Structures: سنناقش هياكل البيانات الـتي يُوفِّرهـا إطـار التجميعـات في لغـة جافا Java Collections Framework والتي تُختصرُ إلى JCF، وسنتعلم كيفية استخدام بعض هياكـل البيانات مثل القوائم والخرائط وسنرى طريقة عملها.
- تحليل الخوارزمياتِ Algorithms: سنتعرض لتقنياتٍ تساعد على تحليل الشـيفرة وعلى التنبـؤ بسـرعة تنفيذها ومقدار الذاكرة الذي تتطلَّبه.
- استرجاع المعلومات Information retrieval: سنَسـتخدِم الموضـوعين السـابقين: هياكـل البيانـات والخوارزميات لإنشاء محرك بحثٍ بسيطٍ عبر الإنترنت، وذلـك لنسـتفيد منهمـا عمليًّا ونجعـل التمـارين أكثر تشويقًا.

وسنناقش تلك الموضوعات وفقًا للترتيب التالي:

- سنبدأ بالواجهة `List`، وسنكتب صنفين ينفذ كلٌ منهما تلك الواجهة بطريقة مختلفـة، ثم سـنوازن بين هذين الصنفين اللذين كتبناهما وبين صنفي جافا `ArrayList` و`LinkedList`.
- بعد ذلك، سنقدِّم هياكل بيانات شجريّة الشكل، ونبدأ بكتابـة شـيفرة التطـبيق الأول. حيث سـيقرأ هـذا التطبيق صفحاتٍ من موقـع Wikipedia، ثم يُحلِّل محتوياتهـا ويعطي النتيجـة على هيئـة شـجرة، وفي النهاية سيمر عبر تلك الشجرة بحثًا عن روابطَ ومزايـا أخـرى. سنَسـتخدِم تلـك الأدوات لاختبـار الفرضـيّة الشهيرة "الطريق إلى الفلسفة" الذي يمكنك معرفة الفكرة العامة عنـه بقـراءة المقـال باللغـة الإنجليزيـة Getting to Philosophy.

- سـنتطرق للواجهـة `Map` وصـنف جافـا `HashMap` المُنفِّذ لهـا، ثم سـنكتب أصـنافًا تُنفِّذ تلـك الواجهـة باستخدام جدول hash وشجرة بحثٍ ثنائيّة.
- أخيرًا، سنستخدِم تلك الأصناف وبعض الأصناف الأخرى التي سنتناولها عبر الكتاب لتنفيذ محرك بحث عبر الإنترنت. سـيكون هـذا المحـرك بمنزلـة زاحـف crawler يبحث عن الصـفحات ويقرؤهـا، كمـا أنـه سيُفهرِس ويُخزِّن محتويات صفحات الإنترنت بهيئةٍ تُمكِّنه من إجراء عملية البحث فيها بكفاءة، كما أنـه سيَعمَل مثل مُسترجِع للمعلومات، أي أنه سيَستقبِل استفسـاراتٍ من المُسـتخدِم ويعيـد النتـائج ذات الصلة.

ولنبدأ الآن.

1.1 لماذا هنالك نوعان من الصنف List؟

عندما يبدأ المبرمجون باستخدام إطار عمل جافا للتجميعـات، فـإنهم عـادةً يحتـارون أي الصـنفين يختـارون `ArrayList` أم `LinkedList`. فلماذا تُوفِّر جافا تنفيذين implementations للواجهـة `List`؟ وكيـف ينبغي الاختيار بينهما؟ سنجيب عن تلك الأسئلة خلال الفصول القليلة القادمة.

سنبدأ باستعراض الواجهات والأصناف المُنفِّذَة لها، وسنُقدِّم فكرة البرمجة إلى واجهة.

سننفِّذ في التمارين القليلة الأولى أصنافًا مشابهةً للصنفين `ArrayList` و`LinkedList`، لكي نتمكَّن من فهم طريقة عملهما، وسنرى أن لكل منهما عيوبًا ومميزاتٍ، فبعض العمليات تكـون أسـرع وتحتـاج إلى مسـاحة أقـل عنـد اسـتخدام الصـنف `ArrayList`، وبعضـها الآخـر يكـون أسـرع وأصـغر عنـد اسـتخدام الصـنف `LinkedList`، وبهذا يمكن القول: إن تحديد الصنف الأفضل لتطبيقٍ معيّنٍ يعتمد على نوعية العمليات الأكـثر استخدامًا ضمن ذلك التطبيق.

1.2 الواجهات في لغة جافا

تُحدّد الواجهة بلغة جافا مجموعةً من التوابع methods، ولا بُدّ لأي صنفٍ يُنفِّذ تلـك الواجهـة أن يُـوفِّر تلـك التوابع. على سبيل المثال، انظر إلى شيفرة الواجهة `Comparable` المُعرَّفة ضمن الحزمة `java.lang`:

```
public interface Comparable<T> {
    public int compareTo(T o);
}
```

يَستخدِم تعريف تلك الواجهة معاملَ نوعٍ type parameter اسمه `T`، وبذلك تكون تلك الواجهة من النـوع المُعمَّم generic type، وينبغي لأي صنفٍ يُنفِّذ تلك الواجهة أن:

- يُحدد النوع الذي يشير إليه معامل النوع `T`.

- يُوفِّر تابعًا اسمه `compareTo` يَستقبِل كائنًا كمعامل parameter ويعيد قيمةً من النوع `int`.

وفي مثالٍ على ما نقول، انظر إلى الشيفرة المصدرية للصنف `java.lang.Integer` فيما يلي:

```
public final class Integer extends Number implements
Comparable<Integer> {

    public int compareTo(Integer anotherInteger) {
        int thisVal = this.value;
        int anotherVal = anotherInteger.value;
        return (thisVal<anotherVal ? -1 : (thisVal==anotherVal ? 0 :
1));
    }

    // حُذفت التوابع الأخرى
}
```

يمتدُّ هذا الصنف من الصنف `Number`، وبالتالي فإنه يَرِث التوابع ومتغيرات النُّسَخ instance variables المُعرَّفة في ذلك الصنف، كما أنه يُنفِّذ أيضًا الواجهة `Comparable<Integer>`، ولذلك فإنه يُوفِّر تابعًا اسمه `compareTo` ويَستقبِل معاملًا من النوع `Integer` ويُعيد قيمةً من النوع `int`.

عندما يُصرِّح صنفٌ معيّنٌ بأنه يُنفِّذ واجهةً معينة، فإن المُصرِّف compiler يتأكَّد من أن ذلك الصنف يُوفِّر جميع التوابع المُعرَّفة في تلك الواجهة.

لاحِظ أنّ تنفيذ التابع `compareTo` الوارد في الأعلى يَستخدِم عاملًا ثلاثيًّا ternary operator يُكتَب أحيانًا على النحو التالي `?:`. إذا لم يكن لديك فكرةٌ عن العوامل الثلاثية، فيُمكِنك قراءة مقال ما هو العامل الثلاثي؟ (باللغة الإنجليزية).

1.3 الواجهة List

يحتوي إطار التجميعات في لغة جافا JCF على واجهة اسمها `List`، ويُوفِّر تنفيذين لها هما `ArrayList` و`LinkedList`. تُعرِّف تلك الواجهة ما ينبغي أن يكون عليه الكائن لكي يُمثِل قائمةً من النوع `List`، ومن ثمّ فلا بُدّ أن يُوفِّر أي صنفٍ يُنفِّذ تلك الواجهة مجموعةً محددةً من التوابع، منها `add` و`get` و`remove`، بالإضافة إلى 20 تابعًا آخر.

يوفّر كلا الصنفين `ArrayList` و `LinkedList` تلك التوابع، وبالتالي يُمكِن التبديل بينهما. ويَعنِي ذلك أنه في حالة وجود تابعٍ مُصمَّمٍ ليَعمَل مع كائنٍ من النوع `List`، فإن بإمكانه العمل أيضًا مع كائنٍ من النوع `ArrayList` أو من النوع `LinkedList`، أو من أيّ نوعٍ آخرَ يُنفِّذ الواجهة `List`.

يُوضِّح المثال التالي تلك الفكرة:

```
public class ListClientExample {
    private List list;

    public ListClientExample() {
        list = new LinkedList();
    }

    private List getList() {
        return list;
    }

    public static void main(String[] args) {
        ListClientExample lce = new ListClientExample();
        List list = lce.getList();
        System.out.println(list);
    }
}
```

كما نرى، لا يقوم الصنف `ListClientExample` بعملٍ مفيد، غير أنه يحتوي على بعض العناصر الضرورية لتغليف قائمة من النوع `List`، إذ يتضمَّن متغير نسخةٍ من النوع `List`. سنستخدِم هذا الصنف لتوضيح فكرةٍ معينة، ثم سنحتاج إلى استخدامه في التمرين الأول.

يُهيئ باني الصنف `ListClientExample` القائمة `list` باستنساخ instantiating -أي بإنشاء- كائنٍ جديدٍ من النوع `LinkedList`، بينما يعيد الجالب `getList` مرجعًا reference إلى الكائن الداخليّ المُمثِل للقائمة، في حين يحتوي التابع `main` على أسطرٍ قليلةٍ من الشيفرة لاختبار تلك التوابع.

النقطة الأساسية التي أردنا الإشارة إليها في هذا المثال هو أنه يحاول استخدام `List` ، دون أن يلجأ لتحديد نوع القائمة هل هي `LinkedList` أم `ArrayList` ما لم تكن هناك ضرورة، فكما نرى متغير النسخة كيف أنه مُعرَّف ليكون من النوع `List`، كما أن التابع `getList` يعيد قيمةً من النوع `List`، دون التطرق لنوع القائمة في أيٍّ منهما. وبالتالي إذا غيرّت رأيك مستقبلًا وقررت أن تَستخدِم كائنًا من النوع `ArrayList`، فكل ما ستحتاج إليه هو تعديل الباني دون الحاجة لإجراء أي تعديلاتٍ أخرى.

تُطلَق على هذا الأسلوب تسميةُ البرمجة المعتمدة على الواجهات أو البرمجة إلى واجهة. وللمزيد من المعلومات عنها، يمكنك قراءة المقال البرمجة المعتمدة على الواجهات المتاح بنسخته الإنجليزية للتعرف أكثر

على هـذا الأسـلوب. تجـدر الإشـارة هنـا إلى أنّ الكلام هنـا عن الواجهـات بمفهومهـا العـام وليس مقتصـرًا على الواجهات بلغة جافا.

في أسلوب البرمجة المعتمدة على الواجهات، تعتمد الشيفرة المكتوبة على الواجهات فقط مثـل `List`، ولا تعتمد على تنفيذاتٍ معيّنةٍ لتلك الواجهات، مثل `ArrayList`. وبهذا، ستعمل الشـيفرة حـتى لـو تغيّـر التنفيـذ المعتمد عليها في المستقبل.

وفي المقابل، إذا تغيّرت الواجهة، فلا بُدّ أيضًـا من تعـديل الشـيفرة الـتي تعتمـد على تلـك الواجهـة، ولهـذا السبب يتجنَّب مطورو المكتبات تعديل الواجهات إلا عند الضرورة القصوى.

1.4 تمرين 1

نظرًا لأن هذا التمرين هو الأول، فقد حرصنا على تبسيطه. انسَخ الشيفرة الموجودة في القسم السابق، وأجرِ التبديل التالي: ضع الصنف `ArrayList` بدلًا من الصـنف `LinkedList`. لاحـظ هنـا أن الشـيفرة تُطبِّق مبـدأ البرمجة إلى واجهة، ولذا فإنك لن تحتاج لتعديل أكثر من سطرٍ واحدٍ فقط وإضافة تعليمة `import`.

لكن قبل كل شيء، يجب ضبط بيئة التطوير المستخدمة؛ كما يجب أيضًا أن تكـون عارفًـا بكيفيـة تصـريف شيفرات جافا وتشغيلها لكي تتمكَّن من حل التمارين. وقد طُورَّت أمثلة هذا الكتاب باسـتخدام الإصـدار السـابع من عدة تطوير جافا Java SE Development Kit، فإذا كنت تَستخدِم إصـدارًا أحـدث، فينبغي أن يَعمَـل كـل شيءٍ على ما يرام؛ أما إذا كنت تَستخدِم إصدارًا أقدم، فربما لا تكون الشيفرة متوافقةً مع عدة التطوير لديك.

يُفضّل استخدام بيئـة تطـوير تفاعليـة IDE لأنهـا تُـوفِّر مزايـا إضـافية مثـل فحص قواعـد الصـياغة syntax والإكمال التلقـائي لتعليمـات الشـيفرة وتحسـين هيكلـة الشـيفرة المصـدرية refactoring، وهـذا من شـأنه أن يُساعدك على تجنُّب الكثير من الأخطـاء، وعلى العثـور عليهـا بسـرعة إن وُجِـدت، ولكن إذا كنت متقـدمًا بطلب وظيفة في شركة ما مثلًا وتنتظرك مقابلـة عمـل تقنيـة، فهـذه الأدوات لن تكـون تحت تصـرّفك غالبًـا في أثنـاء المقابلة، ولهذا لعلّ من الأفضل التعوّد على كتابة الشيفرة بدونها أيضًا.

إذا لم تكن قد حمَّلت الشيفرة المصدرية للكتاب إلى الآن، فانظر إلى التعليمات في القسم 0.1.

ستَجِد الملفات والمجلدات التالية داخل مجلد اسمه `code` من مستودع شيفرات الكتاب:

- `build.xml`: هو ملف Ant يساعد على تصريف الشيفرة وتشغيلها.
- `lib`: يحتوي على المكتبات اللازمة لتشغيل الأمثلة (مكتبة JUnit فقط في هذا التمرين).
- `src`: يحتوي على الشيفرة المصدرية.

إذا ذهبت إلى المجلد `src/com/allendowney/thinkdast` فستجد ملفات الشـيفرة التاليـة الخاصـة بهذا التمرين:

- `ListClientExample.java`: يحتوي على الشيفرة المصدرية الموجودة في القسم السابق.
- `ListClientExampleTest.java`: يحتوي على اختبارات JUnit للصنف `ListClientExample`.

راجع الصنف `ListClientExample` وبعد أن تتأكَّد أنك فهمت كيف يعمل، صرِّفه وشغِّله؛ وإذا كنت تستخدم أداة Ant، فاذهب إلى مجلد `code` ونفِّذ الأمر `ant ListClientExample`.

ربما تتلقى تحذيرًا يشبه التالي:

```
List is a raw type. References to generic type List<E>
should be parameterized.
```

سبب ظهور هذا التحذير هو أننا لم نُحدّد نوع عناصر القائمة، وقد فعلنا ذلك بهدف تبسيط المثال، لكن يُمكِن حل إشكاليّة هذا التحذير بتعديل كل `List` أو `LinkedList` إلى `List<Integer>` أو `LinkedList<Integer>` على الترتيب.

يُجري الصنف `ListClientExampleTest` اختبارًا واحدًا، يُنشِئ من خلاله كائنًا من النوع `ListClientExample`، ويَستدعِي تابعه الجالب `getList`، ثم يَفحَص ما إذا كانت القيمة المعادة منه هي كائن من النوع `ArrayList`. سيفشَل هذا الاختبار في البداية لأن التابع سيعيد قيمةً من النوع `LinkedList` لا من النوع `ArrayList`، لهذا شغِّل الاختبار ولاحظ كيف أنه سيفشل.

> قد يكون هذا الاختبار مناسبًا لهذا التمرين على وجه الخصوص، ولكنه بشكلٍ عامٍّ ليس مثالًا جيدًا على الاختبارات؛ فالاختبارات الجيدة ينبغي أن تتأكَّد من تلبية الصنف الذي يجري اختباره لمتطلبات الواجهة، لا أن تكون هذه الاختبارات مبنيةً على تفاصيل التنفيذ.

والآن لنعدّل الشيفرة كما يلي: ضع`LinkedList` بدلًا من `ArrayList` ضمن الصنف `ListClientExample`، وربما تحتاج أيضًا إلى إضافة تعليمة `import`. صرِّف الصنف `ListClientExample` وشغِّله، ثم شغِّل الاختبار مرةً أخرى. يُفترضُ أن ينجح الاختبار بعد هذا التعديل.

إن سبب نجاح هذا الاختبار هو تعديلك للتسمية `LinkedList` في باني الصنف، دون تعديلٍ لاسم الواجهة `List` في أي مكانٍ آخر. لكن ماذا سيحدث لو فعلت؟ دعنا نجرب. عدِّل اسم الواجهة `List` في مكان واحد أو أكثر إلى الصنف `ArrayList`، عندها ستجد أن البرنامج ما يزال بإمكانه العمل بشكل صحيح، ولكنه الآن يحدد تفاصيلَ زائدةً عن الحاجة، وبالتالي إذا أردت أن تُبدِّل الواجهة مرةً أخرى في المستقبل، فستضطّر إلى إجراء تعديلاتٍ أكثر على الشيفرة.

تُرى، ماذا سيحدث لو اِستخدَمت `List` بدلًا من `ArrayList` داخل باني الصنف `ListClientExample`؟ ولماذا لا تستطيع إنشاء نسخة من `List`؟

دورة تطوير التطبيقات
باستخدام لغة بايثون

مميزات الدورة

- بناء معرض أعمال قوي بمشاريع حقيقية
- وصول مدى الحياة لمحتويات الدورة
- تحديثات مستمرة على الدورة مجانًا
- شهادة معتمدة من أكاديمية حسوب
- إرشادات من المدربين على مدار الساعة
- من الصفر دون الحاجة لخبرة مسبقة

اشترك الآن

2. تحليل الخوارزميات

كما رأينا في الفصل السابق، تُوفِّر جافا تنفيذين implementations للواجهة `List`، هما `ArrayList` و`LinkedList`، حيث يكون النوع `LinkedList` أسرع بالنسبة لبعض التطبيقات، بينما يكون النوع `ArrayList` أسرع بالنسبة لتطبيقاتٍ أخرى.

وإذا أردنا أن نُحدِّد أيهما أفضل للاستخدام في تطبيق معين، فيمكننا تجربة كلٍّ منهما على حدةٍ لنرى الزمن الذي سيَستغرِقه. يُطلَق على هذا الأسلوب اسم التشخيص profiling، ولكنّ له بعض الإشكاليّات:

1. أننا سنضطّر إلى تنفيذ الخوارزميتين كلتيهما لكي نتمكَّن من الموازنة بينهما.
2. قد تعتمد النتائج على نوع الحاسوب المُستخدَم، فقد تعمل خوارزمية معينة بكفاءةٍ عالية على حاسوب معين، في حين قد تَعمَل خوارزميةٌ أخرى بكفاءةٍ عاليةٍ على حاسوب مختلف.
3. قد تعتمد النتائج على حجم المشكلة أو البيانات المُدْخَلة.

يُمكِننا معالجة بعض هذه النقاط المُشكلةِ بالاستعانة بما يُعرَف باسم تحليل الخوارزميات، الذي يُمكِّننا من الموازنة بين عدة خوارزمياتٍ دون الحاجة إلى تنفيذها فعليًا، ولكننا سنضطّر عندئذٍ لوضع بعض الافتراضات:

1. فلكي نتجنَّب التفاصيل المتعلقة بعتاد الحاسوب، سنُحدِّد العمليات الأساسية التي تتألف منها أي خوارزميةٍ مثل الجمع والضرب وموازنة عددين، ثم نَحسِب عدد العمليات التي تتطلّبها كل خوارزمية.
2. ولكي نتجنَّب التفاصيل المتعلقة بالبيانات المُدْخَلة، فإن الخيار الأفضل هو تحليل متوسط الأداء للمُدْخَلات التي نتوقع التعامل معها. فإذا لم يَكُن ذلك متاحًا، فسيكون تحليل الحالة الأسوأ هو الخيار البديل الأكثر شيوعًا.

3. أخيرًا، سيتعيّن علينا التعامل مع احتمالية أن يكون أداء خوارزميةٍ معينةٍ فعّالًا عند التعامل مع مشكلات صغيرة وأن يكون أداء خوارزميةٍ أخرى فعّالًا عند التعامل مع مشكلاتٍ كبيرة. وفي تلك الحالة، عادةً ما نُركِّز على المشكلات الكبيرة، لأن الاختلاف في الأداء لا يكون كبيرًا مع المشكلات الصغيرة، ولكنه يكون كذلك مع المشكلات الكبيرة.

يقودنا هذا النوع من التحليل إلى تصنيف بسيط للخوارزميات. على سبيل المثال، إذا كان زمن تشغيل خوارزمية A يتناسب مع حجم المدخلات n، وكان زمن تشغيل خوارزمية أخرى B يتناسب مع n2، فيُمكِننا أن نقول إن الخوارزمية A أسرع من الخوارزمية B لقيم n الكبيرة على الأقل.

يُمكِن تصنيف غالبية الخوارزميات البسيطة إلى إحدى التصنيفات التالية:

- **ذات زمن ثابت**: تكون الخوارزمية ثابتة الزمن إذا لم يعتمد زمن تشغيلها على حجم المدخلات. على سبيل المثال، إذا كان لدينا مصفوفةٌ مكوَّنةٌ من عدد n من العناصر، واستخدمنا العامل `[]` لقراءة أيٍّ من عناصرها، فإن ذلك يتطلَّب نفس عدد العمليات بغضّ النظر عن حجم المصفوفة.
- **ذات زمن خطّي**: تكون الخوارزمية خطيّةً إذا تناسب زمن تشغيلها مع حجم المدخلات. فإذا كنا نحسب حاصل مجموع العناصر الموجودة ضمن مصفوفة مثلًا، فعلينا أن نسترجع قيمة عدد `n` من العناصر، وأن نُنفِّذ عدد `n-1` من عمليات الجمع، وبالتالي يكون العدد الكليّ للعمليات (الاسترجاع والجمع) هو `2*n-1`، وهو عددٌ يتناسب مع `n`.
- **ذات زمن تربيعي**: تكون الخوارزمية تربيعية أو من الدرجة الثانية إذا تناسب زمن تشغيلها مع n^2. على سبيل المثال، إذا كنا نريد أن نفحص ما إذا كان هنالك أيُّ عنصرٍ ضمن قائمةٍ معينةٍ مُكرَّرًا، فإن بإمكان خوارزميةٍ بسيطةٍ أن توازن كل عنصرٍ ضمن القائمة بجميع العناصر الأخرى، وذلك نظرًا لوجود عدد n من العناصر، والتي لا بُدّ من موازنة كُلٍّ منها مع عدد n-1 من العناصر الأخرى، يكون العدد الكليّ لعمليات الموازنة هو n^2-n، وهو عددٌ يتناسب مع n^2.

2.1 الترتيب الانتقائي Selection sort

تُنفِّذ الشيفرة المثال التالية خوارزميةً بسيطةً تُعرَف باسم الترتيب الانتقائي (باللغة الإنجليزية):

```
public class SelectionSort {

    /**
     * بدل العنصرين الموجودين بالفهرس i والفهرس j
     */
    public static void swapElements(int[] array, int i, int j) {
        int temp = array[i];
```

```
            array[i] = array[j];
            array[j] = temp;
        }

        /**
         * اعثر على فهرس أصغر عنصر بدءًا من الفهرس المُمرَّر
         * عبر المعامل index وحتى نهاية المصفوفة
         */
        public static int indexLowest(int[] array, int start) {
            int lowIndex = start;
            for (int i = start; i < array.length; i++) {
                if (array[i] < array[lowIndex]) {
                    lowIndex = i;
                }
            }
            return lowIndex;
        }

        /**
         * رتب المصفوفة باستخدام خوارزمية الترتيب الانتقائي
         */
        public static void selectionSort(int[] array) {
            for (int i = 0; i < array.length; i++) {
                int j = indexLowest(array, i);
                swapElements(array, i, j);
            }
        }
    }
```

يُبدِّل التابع الأول `swapElements` عنصرين ضمن المصفوفة، وتَستغرِق عمليتا قراءة العناصر وكتابتها زمنًا ثابتًا؛ لأننا لو عَرَفنا حجم العناصر وموضع العنصر الأول ضمن المصفوفة، فسيكون بإمكاننا حساب موضع أي عنصرٍ آخرَ باستخدام عمليتي ضربٍ وجمعٍ فقط، وكلتاهما من العمليات التي تَستغرِق زمنًا ثابتًا. ولمّا كانت جميع العمليات ضمن التابع `swapElements` تَستغرِق زمنًا ثابتًا، فإن التابع بالكامل يَستغرِق بدوره زمنًا ثابتًا.

يبحثُ التابع الثاني `indexLowest` عن فهرسِ index أصغرِ عنصرٍ في المصفوفة بدءًا من فهرسٍ معينٍ يُخصِّصه المعامل `start`، ويقرأ كل تكرارٍ ضمن الحلقة التكراريّة عنصرين من المصفوفة ويُوازن بينهما، ونظرًا

لأن كل تلك العمليات تستغرِق زمنًا ثابتًا، فلا يَهُمّ أيُها نَعُدّ. ونحن هنا بهدف التبسيط سنحسب عدد عمليات الموازنة:

1. إذا كان `start` يُساوِي الصفر، فسيَمُرّ التابع `indexLowest` عبر المصفوفة بالكامل، وبالتالي يكون عدد عمليات الموازنة المُجراة مُساويًا لعدد عناصر المصفوفة، وليكن `n`.
2. إذا كان `start` يُساوِي 1، فإن عدد عمليات الموازنة يُساوِي `n-1`.
3. في العموم، يكون عدد عمليات الموازنة مساويًا لقيمة `n-start`، وبالتالي، يَستغرِق التابع `indexLowest` زمنًا خطّيًا.

يُرتِّب التابع الثالث `selectionSort` المصفوفة. ويُنفِّذ التابع حلقة تكرار من 0 إلى n-1، أي يُنفِّذ الحلقة عدد n من المرات. وفي كل مرة يَستدعِي خلالها التابع `indexLowest`، ثم يُنفِّذ العملية `swapElements` التي تَستغرِق زمنًا ثابتًا.

عند استدعاء التابع `indexLowest` لأوّلِ مرة، فإنه يُنفِّذ عددًا من عمليات الموازنة مقداره n، وعند استدعائه للمرة الثانية، فإنه يُنفِّذ عددًا من عمليات الموازنة مقداره n-1، وهكذا. وبالتالي سيكون العدد الإجمالي لعمليات الموازنة هو:

```
n + n-1 + n-2 + ... + 1 + 0
```

يبلُغ مجموع تلك السلسلة مقدارًا يُساوِي n(n+1)/2، وهو مقدارٌ يتناسب مع n2، مما يَعنِي أن التابع `selectionSort` يقع تحت التصنيف التربيعي.

يُمكِننا الوصول إلى نفس النتيجة بطريقة أخرى، وهي أن ننظر للتابع `indexLowest` كما لو كان حلقة تكرارٍ متداخلةً nested، ففي كل مرة نَستدعِي خلالها التابع `indexLowest`، فإنه يُنفِّذ مجموعةً من العمليات يكون عددها متناسبًا مع n، ونظرًا لأننا نَستدعيه عددًا من المرات مقداره n، فإن العدد الكليّ للعمليات يكون متناسبًا مع n^2.

2.2 ترميز Big O

تنتمي جميع الخوارزميات التي تَستغرِق زمنًا ثابتًا إلى مجموعةٍ يُطلَق عليها اسم O(1)، فإذا قلنا إن خوارزميةً معينةً تنتمي إلى المجموعة O(1)، فهذا يعني ضمنيًّا أنها تستغرِق زمنًا ثابتًا. وعلى نفس المنوال، تنتمي جميع الخوارزميات الخطيّة -التي تستغرِق زمنًا خطيًا- إلى المجموعة O(n)، بينما تنتمي جميع الخوارزميات التربيعية إلى المجموعة $O(n^2)$. تطلَق على تصنيف الخوارزميات بهذا الأسلوب تسمية ترميز Big O.

> لقد عرَّفنا هنا ترميز big O تعريفًا عارضًا، ولكن لو أردت التعمّق في الجزء الرياضيّ منه فبإمكانك الاطلاع على مقال ما هو ترميز Big O.

يُوفِّر هذا الترميز أسلوبًا سهلًا لكتابة القواعد العامة التي تسلُكها الخوارزميات في العموم. فلو نفَّذنا خوارزميةً خطيةً وتبعناها بخوارزميةٍ ثابتة الزمن على سبيل المثال، ، فإن زمن التشغيل الإجمالي يكون خطيًا. وننبّه هنا إلى أنّ ∈ تَعنِي "ينتمي إلى":

```
If f ∈ O(n) and g ∈ O(1), f+g ∈ O(n)
```

إذا أجرينا عمليتين خطيتين، فسيكون المجموع الإجمالي خطيًا:

```
If f ∈ O(n) and g ∈ O(n), f+g ∈ O(n)
```

في الحقيقة، إذا أجرينا عمليةً خطيّةً أي عددٍ من المرات، وليكن k، فإن المجموع الإجمالي سيبقى خطيًا طالما أن k قيمة ثابتة لا تعتمد على n:

```
If f ∈ O(n) and k is constant, kf ∈ O(n)
```

في المقابل، إذا أجرينا عمليةً خطيةً عدد n من المرات، ستكون النتيجة تربيعيةً:

```
If f ∈ O(n), nf ∈ O(n^2)
```

وفي العموم، ما يهمنا هو أكبر أسٍّ للأساس n، فإذا كان العدد الكليّ للعمليات يُساوِي 2n+1، فإنه إجمالًا ينتمي إلى O(n)، ولا أهمية للثابت 2 ولا للقيمة المضافة 1 في هذا النوع من تحليل الخوارزميات. وبالمثل، ينتمي $n^2+100n+1000$ إلى $O(n^2)$. ولا أهمّية للأرقام الكبيرة التي تراها.

يُعدّ ترتيب النمو Order of growth طريقةً أخرى للتعبير عن نفس الفكرة، ويشير ترتيبُ نموٍّ معين إلى مجموعة الخوارزميات التي ينتمي زمن تشغيلها إلى نفس تصنيف ترميز big O، حيث تنتمي جميع الخوارزميات الخطية مثلًا إلى نفس ترتيب النمو؛ وذلك لأن زمن تشغيلها ينتمي إلى المجموعة O(n).

ويُقصَد بكلمة "ترتيب" ضمن هذا السياق "مجموعة"، مثل إستخدَامنا لتلك الكلمة في عبارةٍ مثل "ترتيب فرسان المائدة المستديرة". ويُقصَد بهذا أنهم مجموعة من الفرسان، وليس طريقة صفّهم أو ترتيبهم، أي يُمكِنك أن تنظر إلى ترتيب الخوارزميات الخطية وكأنها مجموعة من الخوارزميات التي تتمتّع بكفاءةٍ عالية.

2.3 تمرين 2

يشتمل التمرين التالي على تنفيذ الواجهة `List` باستخدام مصفوفةٍ لتخزين عناصر القائمة.

ستجد الملفات التالية في مستودع الشيفرة الخاص بالكتاب -انظر القسم 0.1-:

- `MyArrayList.java` : يحتوي على تنفيذ جزئي للواجهة `List`، فهناك أربعةُ توابعَ غير مكتملة عليك أن تكمل كتابة شيفرتها.
- `MyArrayListTest.java`: يحتوي على مجموعة من اختبارات JUnit، والتي يُمكِنك أن تَستخدِمها للتحقق من صحة عملك.

كما ستجد الملف `build.xml`. يُمكِنك أن تُنفِّذ الأمر `ant MyArrayList`؛ لكي تتمكَّن من تشغيل الصنف `MyArrayList.java` وأنت ما تزال في المجلد code الذي يحتوي على عدة اختباراتٍ بسيطة. ويُمكِنك بدلًا من ذلك أن تُنفِّذ الأمر `ant MyArrayListTest` لكي تُشغِّل اختباراتِ JUnit.

عندما تُشغِّل تلك الاختبارات فسيفشل بعضها، والسبب هو وجود توابع ينبغي عليك إكمالها. إذا نظرت إلى الشيفرة، فستجد 4 تعليقات `TODO` تشير إلى هذه موضع كل من هذه التوابع.

ولكن قبل أن تبدأ في إكمال تلك التوابع، دعنا نلق نظرةً سريعةً على بعض أجزاء الشيفرة. تحتوي الشيفرة التالية على تعريف الصنف ومتغيراتِ الكائنات المنشأة instance variables وباني الصنف constructor:

```
public class MyArrayList<E> implements List<E> {
    int size;                   // احتفظ بعدد العناصر
    private E[] array;          // خزِّن العناصر

    public MyArrayList() {
        array = (E[]) new Object[10];
        size = 0;
    }
}
```

يحتفظ المتغير `size` -كما يُوضِّح التعليق- بعدد العناصر التي يَحمِلها كائنٌ من النوع `MyArrayList`، بينما يُمثِل المتغير `array` المصفوفة التي تحتوي على تلك العناصر ذاتها.

يُنشِئ الباني مصفوفةً مكوَّنةً من عشرة عناصر تَحمِل مبدئيًّا القيمة الفارغة `null`، كما يَضبُط قيمة المتغير `size` إلى 0. غالبًا ما يكون طول المصفوفة أكبر من قيمة المتغير `size`، مما يَعنِي وجود أماكنَ غير مُستخدَمةٍ في المصفوفة.

ملاحظة متعلقة بقواعد لغة جافا

لا يُمكِنك إنشاء مصفوفة باستخدام معامل نوع type parameter، وهكذا فالتعليمة التالية مثلًا لن تَعمَل:

```
array = new E[10];
```

لكي تتمكَّن من تخطِي تلـك العقبـة، عليـك أن تُنشِـئ مصـفوفةً من النـوع `Object`، ثم تُحـوِّل نوعهـا typecast. يُمكِنك قراءة المزيد عن ذلك في ما المقصود بالأنواع المعمّمة (باللغة الإنجليزية).

ولنُلقِ نظرةً الآن على التابع المسؤول عن إضافة العناصر إلى القائمة:

```
    public boolean add(E element) {
        if (size >= array.length) {
            // أنشئ مصفوفة أكبر وانسخ إليها العناصر
            E[] bigger = (E[]) new Object[array.length * 2];
            System.arraycopy(array, 0, bigger, 0, array.length);
            array = bigger;
        }
        array[size] = element;
        size++;
        return true;
    }
```

في حالة عدم وجود المزيد من الأماكن الشاغرة في المصفوفة، سنضطّر إلى إنشاء مصفوفةٍ أكبر نَنسَخ إليها العناصر الموجودة سـابقًا، وعندئـذٍ سـنتمكَّن من إضـافة العنصـر الجديـد إلى تلـك المصـفوفة، مـع زيـادة قيمة المتغير `size`.

يعيد ذلك التابع قيمةً من النوع `boolean`. قد لا يكون سبب ذلك واضحًا، فلربما تظن أنـه سـيعيد القيمـة `true` دائمًا. قد لا تتضح لنا الكيفية التي ينبغي أن نُحلِّل أداء التابع على أساسها. في الأحـوال العاديّـة يسـتغرق التابع زمنًا ثابتًا، ولكنه في الحالات التي نضطّر خلالها إلى إعادة ضـبط حجم المصـفوفة سيسـتغرِق زمنًـا خطيًـا. وسنتطرّق إلى كيفية معالجة ذلك في القسم 3.2.

في الأخير، لنُلقِ نظرةً على التابع `get`، وبعدها يُمكِنك البدء في حل التمرين:

```
    public T get(int index) {
        if (index < 0 || index >= size) {
            throw new IndexOutOfBoundsException();
        }
        return array[index];
    }
```

كما نرى، فالتابع `get` بسيطٌ للغاية ويعمل كمـا يلي: إذا كـان الفهـرس المطلـوب خـارج نطـاق المصـفوفة، فسيُبلِّغ التابع عن اعتراض exception؛ أما إذا ضمن نطاق المصفوفة، فـإن التـابع يسـترجع عنصـر المصـفوفة

ويعيده. لاحِظ أن التابع يَفحَص ما إذا كانت قيمة الفهرس أقل من قيمة `size` لا قيمة `array.length`، وبالتالي لا يعيد التابع قيم عناصر المصفوفة غير المُستخدَمة.

ستجد التابع `set` في الملف `MyArrayList.java` على النحو التالي:

```
    public T set(int index, T element) {
        // TODO: fill in this method.
        return null;
    }
```

اقرأ توثيق set باللغة الإنجليزية، ثم أكمل متن التابع. لا بُدّ أن ينجح الاختبار `testSet` عندما تُشغِّل `MyArrayListTest` مرةً أخرى.

> تجنَّب تكرار الشيفرة المسؤولة عن فحص الفهرس.

الخطوة التالية هي إكمال التابع `indexOf`، وبالمثل نحيلك إلى مقالة توثيق التابع List indexOf لتقرأها أولًا وذلك لتعرف ما ينبغي عليك القيام به. وأعِر انتباهًا لكيفية معالجته للقيمة الفارغة `null`.

وفَّرنا لك أيضًا التابع المساعد `equals` للموازنة بين قيمة عنصر ضمن المصفوفة وبين قيمة معينة أخرى. يعيد ذلك التابع القيمة `true` إذا كانت القيمتان متساويتين كما يُعالِج القيمة الفارغة null بشكل سليم. لاحِظ أن هذا التابع مُعرَّف باستخدام المُعدِّل `private`؛ لأنه ليس جزءًا من الواجهة `List`، ويُستخدَم فقط داخل الصنف.

شغِّل الاختبار `MyArrayListTest` مرة أخرى عندما تنتهي، والآن ينبغي أن ينجح الاختبار `testIndexOf` وكذلك الاختبارات الأخرى التي تعتمد عليه.

ما يزال هناك تابعان آخران عليك إكمالهما لكي تنتهي من التمرين، حيث أن التابع الأول هو عبارة عن بصمة أخرى من التابع `add`. تَستقبِل تلك البصمة فهرسًا وتُخزِّن فيه قيمةً جديدة. قد تضطّر أثناء ذلك إلى تحريك العناصر الأخرى لكي تُوفِّر مكانًا للعنصر الجديد.

مثلما سبق، اقرأ التوثيق باللغة الإنجليزية أولًا ثم نفِّذ التابع، بعدها شغِّل الاختبارات لكي تتأكّد من أنك تنفيذك سليم.

> تجنَّب تكرار الشيفرة المسؤولة عن زيادة/إعادة ضبط حجم المصفوفة.

لننتقل الآن إلى التابع الأخير: أكمل متن التابع `remove`. اقرأ أولًا التوثيق باللغة الإنجليزية http://thinkdast.com/listrem، وعندما تنتهي من إكمال هذا التابع، فالمتوقع أن تنجح جميع الاختبارات.

بعد أن تُنهِي جميع التوابع وتتأكَّد من أنها تَعمَل بكفاءة، يُمكِنك الاطلاع على الشيفرة الّلتي كتبها المؤلف.

هل تطمح لبيع منتجاتك الرقمية عبر الإنترنت؟

استثمر مهاراتك التقنية وأطلق منتجًا رقميًا
يحقق لك دخلًا عبر بيعه على متجر بيكاليكا

أطلق منتجك الآن

3. قائمة المصفوفة ArrayList

يضرب هذا الفصل عصفورين بحجرٍ واحدٍ، حيث سنحل فيه تمرين الفصل السابق، وسنتطرق لوسيلة نصنّف من خلالها الخوارزميات باستخدام ما يسمّى التحليل بالتسديد amortized analysis.

3.1 تصنيف توابع الصنف MyArrayList

يُمكِننا تحديد ترتيب نمو order of growth غالبية التوابع بالنظر إلى شيفرتها. على سبيل المثال، انظر إلى تنفيذ التابع `get` المُعرَّف بالصنف `MyArrayList`:

```
    public E get(int index) {
        if (index < 0 || index >= size) {
            throw new IndexOutOfBoundsException();
        }
        return array[index];
    }
```

تستغرِق كل تعليمة من تعليمات التابع `get` زمنًا ثابتًا، وبناءً على ذلك يستغرِق التابع `get` في المجمل زمنًا ثابتًا.

الآن وقد صنّفنا التابع `get`، يمكننا بنفس الطريقة أن نصنّف التابع `set` الذي يَستخدِمه. انظر إلى تنفيذ التابع `set` من التمرين السابق الذي مرّ بنا في الفصل الثاني:

```
    public E set(int index, E element) {
        E old = get(index);
        array[index] = element;
```

```
        return old;
    }
```

ربما لاحظت أن التابع `set` لا يفحص نطاق المصفوفة صراحةً، فهو يعتمد في ذلك على استدعائه للتابع `get` الذي يُبلِّغ عن اعتراض exception عندما لا يكون الفهرس صالحًا.

تَستغرق كل تعليمة من تعليمات التابع `set` -بما في ذلك استدعاؤه للتابع `get`- زمنًا ثابتًا، وعليه يُعدّ التابع `set` ثابت الزمن أيضًا.

ولننتقل الآن إلى بعض التوابع الخطيّة. انظر مثلاً إلى تنفيذنا للتابع `indexOf`:

```
    public int indexOf(Object target) {
        for (int i = 0; i<size; i++) {
            if (equals(target, array[i])) {
                return i;
            }
        }
        return -1;
    }
```

يحتوي التابع `indexOf` على حلقة تكرارية كما نرى، وفي كل مرورٍ تكراريٍّ في تلك الحلقة يستدعي التابعَ equals. علينا إذًا أن نُصنّف التابعequals أولًا لنتمكن من تصنيف التابع`indexOf`. لننظر إلى تعريف ذلك التابع:

```
    private boolean equals(Object target, Object element) {
        if (target == null) {
            return element == null;
        } else {
            return target.equals(element);
        }
    }
```

يستدعي التابعُ السابق التابعَ `target.equals` الذي يعتمد زمن تنفيذه على حجم المتغير `target` و`element`، ولكنه لا يعتمد على حجم المصفوفة، ولذلك سنَعُدّه ثابت الزمن لكي نُكمِل تحليل التابع `indexOf`.

لنعُد الآنَ إلى التابع `indexOf`. تَستغرق كل تعليمة ضمن الحلقة زمنًا ثابتًا، مما يقودنا إلى السؤال التالي: كم عدد مرات تنفيذ الحلقة؟

إذا حالفنا الحظ، قد نجد الكائن المطلوب مباشرةً ونعود بعد اختبار عنصر واحد فقط؛ أما إذا لم نكن محظوظين، فقد نضطرّ لاختبار جميع العناصر. لنقلْ إننا سنحتاج وسطيًّا إلى اختبار نصف عدد العناصر، ومن ثم يمكن القول بأن هذا التابع يصنّف بأنه تابع خطّيٌّ أيضًا باستثناء الحالة الأقل احتمالًا، والتي يكون فيها العنصر المطلوب هو أول عنصر في المصفوفة.

وهكذا يتشابه تحليل التابع `remove` مع التابع السابق. وفيما يلي تنفيذه:

```
    public E remove(int index) {
        E element = get(index);
        for (int i=index; i<size-1; i++) {
            array[i] = array[i+1];
        }
        size--;
        return element;
    }
```

يَستدعِي التابعُ السابق التابعَ `get` ذا الزمن الثابت، ثم يُمرّ عبر عناصر المصفوفة بدايةً من الفهرس `index`. وإذا حذفنا العنصر الموجود في نهاية القائمة، فلن يُنفِّذ التابع حلقة التكرار على الإطلاق، وسيستغرِق التابع عندئذٍ زمنًا ثابتًا. في المقابل، إذا حذفنا العنصر الأول فسيمرّ التابع عبر جميع العناصر المتبقية، وبالتالي سيستغرِق التابع زمنًا خطيًا. لذلك يُمكِننا أن نَعُدّ التابع خطيًا في المجمل، باستثناء الحالة الخاصة التي يكون خلالها العنصر المطلوب حذفه واقعًا في نهاية المصفوفة أو على بعد مسافةٍ ثابتةٍ من نهايتها.

3.2 تصنيف التابع add

تستقبل النسخة التالية من التابع `add` فهرسًا وعنصرًا كمعاملات parameters:

```
    public void add(int index, E element) {
        if (index < 0 || index > size) {
            throw new IndexOutOfBoundsException();
        }
        // أضف عنصرًا للتأكّد من ضبط حجم المصفوفة
        add(element);

        // حرك العناصر الأخرى
        for (int i=size-1; i>index; i--) {
            array[i] = array[i-1];
        }
```

```
        // ضع العنصر الجديد في المكان الصحيح
        array[index] = element;
    }
```

تستدعي النسخةُ ذات المعاملين `add(int, E)` النسخةَ ذات المعامل الواحد `add(E)` أولًا لكي تضع العنصر الجديد في نهاية المصفوفة، وبعد ذلك تُحرِّك العناصر الأخرى إلى اليمين، وتضع العنصر الجديد في المكان الصحيح.

سنُحلّل أولًا زمن النسخة ذات المعامل الواحد `add(E)` قبل أن ننتقل إلى تحليل النسخة ذات المعاملين `add(int, E)`:

```
    public boolean add(E element) {
        if (size >= array.length) {
            // أنشئ مصفوفة أكبر وانسخ العناصر إليها
            E[] bigger = (E[]) new Object[array.length * 2];
            System.arraycopy(array, 0, bigger, 0, array.length);
            array = bigger;
        }
        array[size] = element;
        size++;
        return true;
    }
```

تتضح لنا هنا صعوبة تحليل زمن النسخة ذات المعامل الواحد؛ لأنه لو كانت هناك مساحة غير مُستخدَمةٍ في المصفوفة، فسيستغرِق التابع زمنًا ثابتًا؛ أما لو اضطرّرنا لإعادة ضبط حجم المصفوفة، فسيستغرِق التابع زمنًا خطيًا؛ لأن التابع `System.arraycopy` يستغرِق بدوره زمنًا يتناسب مع حجم المصفوفة.

إذاً فهل هذا التابع ثابت أم خطي؟ يُمكِننا أن نُصنِّفه بالتفكير في متوسط عدد العمليات التي تتطلَّبها عملية الإضافة خلال عدد من الإضافات مقداره n. وسنفترض للتبسيط بأن لدينا مصفوفةً بإمكانها تخزين عنصرين فقط.

- في المرة الأولى التي سنستدعي خلالها `add`، سيجد التابع مساحةً شاغرةً في المصفوفة، وسيُخزِّن عنصرًا واحدًا.
- في المرة الثانية، سيجد التابع مساحةً شاغرةً في المصفوفة، وسيُخزِّن عنصرًا واحدًا.
- في المرة الثالثة، سيعيد التابع ضبط حجم المصفوفة، وينسخ العنصرين السابقين، ثم يخزن العنصر الجديد وهو الثالث، وسيُصبِح بإمكان المصفوفة تخزين 4 عناصر في المجمل.

- ستخُزِّن المرة الرابعة عنصرًا واحدًا.
- ستعيد المرة الخامسة ضبط حجم المصفوفة، وتنسخ أربعة العناصر السابقة، وتخزّن عنصرًا جديدًا وهو الخامس، وسيكون في إمكان المصفوفة تخزين ثمانية عناصر إجمالًا.
- ستُخزِّن المرات الثلاث التالية ثلاثة عناصر.
- ستنسخ المرة التالية ثمانية العناصر السابقة وتُخزِّن عنصرًا جديدًا وهو التاسع، وسيُصبِح بإمكان المصفوفة تخزين ستة عشر عنصرًا.
- ستُخزِّن سبعُ المرات التالية سبعةَ عناصر وهكذا دواليك.

وإذا أردنا أن نلخص ما سبق:

- فإننا بعد 4 إضافات، سنكون قد خزَّنا 4 عناصر ونسخنا عنصرين.
- بعد 8 إضافات، سنكون قد خزَّنا 8 عناصر ونسخنا 6 عناصر.
- بعد 16 إضافةً، سنكون قد خزَّنا 16 عنصرًا ونسخنا 14 عنصرًا.

يُفترَض أن تكون قد استقرأت سير العملية وحصلت على ما يلي: لكي نُضيف عدد مقداره n من العناصر، سنضطرّ إلى تخزين عدد n من العناصر ونسخ عدد n-2 من العناصر، وبالتالي يكون عدد العمليات الإجمالي هو n+n-2 أي 2n-2.

لكي نحسب متوسط عدد العمليات المطلوبة لعملية الإضافة، ينبغي أن نقسِّم العدد الكلي للعمليات على عدد الإضافات n، وبذلك ستكون النتيجة هي 2n/2-2. لاحِظ أنه كلما ازدادت قيمة n، ستقل قيمة الجزء الثاني 2/n. ونظراً لأن ما يهمنا هنا هو الأسّ الأكبر للأساس n، فيُمكِننا أن نَعُدّ التابع `add` ثابت الزمن.

قد يبدو من الغريب لخوارزمية تحتاج إلى زمن خطي أحيانًا أن تكون ثابتة الزمن في المتوسط. والفكرة هي أننا نضاعف طول المصفوفة في كل مرة نضطرّ فيها إلى إعادة ضبط حجمها. يُقلِّل ذلك عدد المرات التي نَنَسَخ خلالها جميع العناصر، أما لو كنا نضيف مقدارًا ثابتًا إلى طول المصفوفة بدلًا من مضاعفتها بمقدارٍ ثابت، فإنّ هذا التحليل لا يصلح.

يُطلَق على تصنيف الخوارزميات وفقًا لتلك الطريقة -أي بحساب متوسط الزمن الذي تستغرقه متتالية من الاستدعاءات- باسم التحليل بالتسديد، والذي يُمكِنك قراءة المزيد عنه في مقال ما هو التحليل بالتسديد؟ (باللغة الإنجليزية). تتلخص فكرته الأساسية في توزيع/تسديد التكلفة الإضافية لنسخ المصفوفة عبر سلسلة من الاستدعاءات.

الآن وقد عرفنا أنّ التابع `add(E)` ثابت الزمن، ماذا عن التابع `add(int, E)`؟ يُنفِّذ التابع `add(int, E)` -بعد استدعائه للتابع `add(E)`- حلقةً تمُرّ عبر جزءٍ من عناصر المصفوفة وتُحرِّكها. تستغرِق تلك

الحلقة زمنًا خطيًا باستثناء الحالة التي نضيف خلالها عنصرًا إلى نهاية المصفوفة، وعليه يكون التابع `add(int, E)` بدوره خطيًا.

3.3 حجم المشكلة

ولننتقل الآن إلى المثال الأخير في هذا الفصل. انظر فيما يلي إلى تنفيذ التابع `removeAll` ضمن الصنف `MyArrayList`:

```
    public boolean removeAll(Collection<?> collection) {
        boolean flag = true;
        for (Object obj: collection) {
            flag &= remove(obj);
        }
        return flag;
    }
```

يستدعِي التابع `removeAll` في كلّ تكرارٍ ضمن الحلقة التابعَ `remove` الذي يستغرِق زمنًا خطّيًا. قد يدفعك ذلك إلى الظن بأنّ التابعَ `removeAll` تربيعي، ولكن ليس بالضرورة أن يكون كذلك.

يُنفِّذ التابع `removeAll` الحلقة مرةً واحدةً لكل عنصر في المتغير `collection`. فإذا كان المتغير يحتوي على عدد m من العناصر، وكانت القائمة التي نحذِف منها العنصر مكوَّنةً من عدد n من العناصر، فإن هذا التابع ينتمي إلى المجموعة O(nm). لو افترضنا أن حجم `collection` ثابت، فسيكون التابع `removeAll` خطيًا بالنسبة لـ n، ولكن إذا كان حجم `collection` متناسبًا مع n، فسيكون التابع `removeAll` تربيعيًا. على سبيل المثال، إذا كان `collection` يحتوي دائمًا على 100 عنصر أو أقل، فإن التابع `removeAll` يستغرِق زمنًا خطيًا؛ أما إذا كان `collection` يحتوي في العموم على 1% من عناصر القائمة، فإن التابع `removeAll` يستغرِق زمنًا تربيعيًا.

عند الحديث عن حجم المشكلة، ينبغي أن ننتبه إلى ماهية الحجم أو الأحجام التي نحن بصددها. يبين هذا المثال إحدى مشاكل تحليل الخوارزميات، وهي الاختصار المغري الناجم عن عدّ الحلقات، ففي حالة وجود حلقة واحدة، غالبًا ما تكون الخوارزمية خطية، وفي حالة وجود حلقتين متداخلتين، فغالبًا ما تكون الخوارزمية تربيعية، ولكن انتبه وفكر أولًا في عدد مرات تنفيذ كل حلقة، فإذا كان عددها يتناسب مع n لجميع الحلقات، فيمكنك الاكتفاء بعدّ الحلقات؛ أما إذا لم يكن عددها متناسبًا دائمًا مع n -كما هو الحال في هذا المثال- فعليك أن تتريث وتمنح الأمر مزيدًا من التفكير.

3.4 هياكل البيانات المترابطة linked data structures

سنقدم في التمرين التالي تنفيذًا جزئيًا للواجهة `List`. يَستخدِم هذا التنفيذ قائمةً مترابطةً linked list لتخزين العناصر، وإذا لم تكن لديك فكرة عن القوائم المترابطة، فيُمكِنك القراءة عنها في مقال القوائم المترابطة، وسنتطرق لها باختصار هنا.

يُعدّ هيكل البيانات مترابطًا إذا كان مُؤلفًا من كائنات يُطلَق عليها عادةً اسم عُقد nodes، حيث تحتوي العقد على مراجع references تشير إلى عقد أخرى. وفي القوائم المترابطة، تحتوي كل عقدة على مرجع إلى العقدة التالية في القائمة. قد تحتوي العقد في أنواعٍ أخرى من هياكل البيانات المترابطة على مراجع تشير إلى عدة عقد، مثل الأشجار trees والشُعب graphs.

تعرض الشيفرة التالية تنفيذًا بسيطًا لصنف عقدة:

```
public class ListNode {

    public Object data;
    public ListNode next;

    public ListNode() {
        this.data = null;
        this.next = null;
    }

    public ListNode(Object data) {
        this.data = data;
        this.next = null;
    }

    public ListNode(Object data, ListNode next) {
        this.data = data;
        this.next = next;
    }

    public String toString() {
        return "ListNode(" + data.toString() + ")";
    }
}
```

يتضمَّن الصنف `ListNode` متغيري نسخة هما: `data` و`next`. يحتوي `data` على مرجعٍ يشير إلى كائن ما من النوع `Object`، بينما يحتوي `next` على مرجع يشير إلى العقدة التالية في القائمة. ويحتوي `next` في العقدة الأخيرة من القائمة على القيمة الفارغة `null` كما هو متعارف عليه.

يُعرِّف الصنف `ListNode` مجموعةً من البواني constructors التي تُمكِّنك من تمرير قيمٍ مبدئيةٍ للمتغيرين `data` و`next`، أو تمكّنك من مجرد تهيئتهما إلى القيمة الافتراضية `null`. ويُمكِنك أن تُفكِر في عقدةٍ واحدةٍ من النوع `ListNode` كما لو أنها قائمةٌ مُكوَّنةٌ من عنصرٍ واحدٍ، ولكن على العموم، يُمكِن لأي قائمة أن تحتوي على أي عدد من العقد.

هناك الكثير من الطرق المستخدمة لإنشاء قائمة جديدة، وتتكوَّن إحداها من إنشاء مجموعة من كائنات الصنف `ListNode` على النحو التالي:

```
ListNode node1 = new ListNode(1);
ListNode node2 = new ListNode(2);
ListNode node3 = new ListNode(3);
```

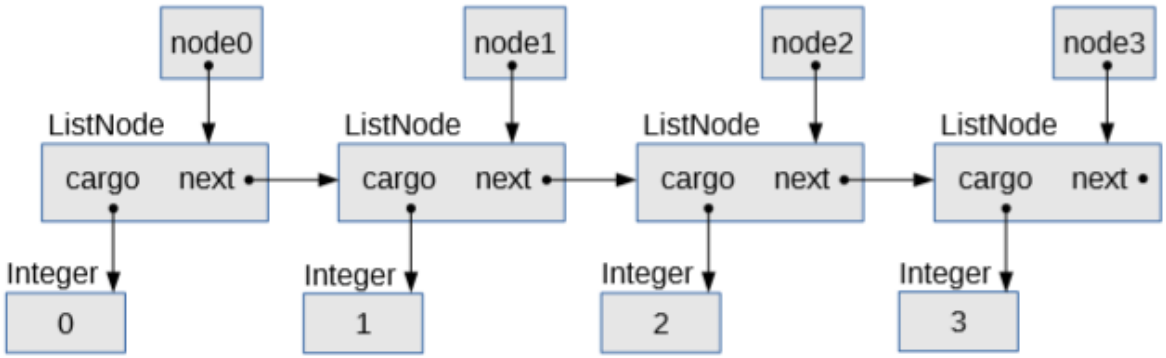
ثم ربطها ببعض:

```
node1.next = node2;
node2.next = node3;
node3.next = null;
```

وهناك طريقة أخرى هي أن تُنشِئ عقدةً وتربطها في نفس الوقت. على سبيل المثال، إذا أردت أن تضيف عقدةً جديدةً إلى بداية قائمة، يُمكِنك كتابة ما يلي:

```
ListNode node0 = new ListNode(0, node1);
```

والآن، بعد تنفيذ سلسلة التعليمات السابقة، أصبح لدينا أربعةُ عقدٍ تحتوي على الأعداد الصحيحة 0 و 1 و 2 و 3 مثل بيانات، ومربوطةٌ معًا بترتيب تصاعدي. لاحِظ أن قيمة `next` في العقدة الأخيرة تحتوي على القيمة الفارغة `null`.



الرسمة التوضيحية السابقة هي رسم بيانيٌّ لكائنٍ يُوضِّح المتغيرات والكائنات التي تشير إليها تلك المتغيرات. تَظهَر المتغيرات بهيئة أسماءٍ داخل صناديقَ مع أسهمٍ تُوضِّح ما تشير إليه المتغيرات، بينما تَظهَر الكائنات بهيئة صناديق تَجِد خارجها النوع الذي تنتمي إليه (مثل `ListNode` و`Integer`)، وداخلها متغيرات النسخ المُعرَّفة بها.

3.5 تمرين 3

ستجد ملفات الشيفرة المطلوبة لهذا التمرين في مستودع الكتاب.

- `MyLinkedList.java`: يحتوي على تنفيذ جزئي للواجهة `List`، ويَستخدِم قائمةً مترابطةً لتخزين العناصر.
- `MyLinkedListTest.java`: يحتوي على اختبارات JUnit للصنف `MyLinkedList`.

نفِّذ الأمر `ant MyArrayList` لتشغيل `MyArrayList.java` الذي يحتوي على عدة اختبارات بسيطة. ثم نفِّذ `ant MyArrayListTest` لتشغيل اختبارات JUnit التي سيفشل البعض منها. إذا نظرت إلى الشيفرة، ستجد ثلاثة تعليقات `TODO` للإشارة إلى التوابع التي ينبغي عليك إكمالها.

لننظر إلى بعض أجزاء الشيفرة قبل أن تبدأ. انظر إلى المتغيرات والبواني المُعرَّفة في الصنف `MyLinkedList`:

```
public class MyLinkedList<E> implements List<E> {

    private int size;             // احتفظ بعدد العناصر
    private Node head;            // مرجع إلى العقدة الأولى

    public MyLinkedList() {
        head = null;
```

```
            size = 0;
        }
    }
```

يحتفظ المتغير `size` -كما يُوضِّح التعليق- بعدد العناصر الـتي يَحمِلهـا كـائن من النـوع `MyLinkedList`، بينما يشير المتغير `head` إلى العقدة الأولى في القائمة أو يحمل القيمة الفارغة `null` إذا كانت القائمة فارغة.

ليس من الضروري تخزين عدد العناصر. ولا يُعدّ الاحتفاظ بمعلوماتٍ إضافية في العموم أمرًا جيدًا؛ والسبب هو أن المعلومات الإضافية تحمّلنا عبء التحديث المستمر لها، ما قد يتسبَّب في وقوع أخطاء، كما أنهـا تحتـل حيزًا إضافيًا من الذاكرة.

لكننا لو خزَّنا `size` صراحةً، فإننا سنتمكَّن من كتابة تنفيذٍ للتابع `size`، بحيث يَستغرِق تنفيـذه زمنًـا ثابتًـا؛ أما لو لم نفعل ذلك، فسنضطرّ إلى المرور عبر القائمة وعدّ عناصرها في كل مرة، وهذا يتطلَّب زمنًا خطيًا.

من جهة أخرى، نظرًا لأننا نُخزِّن `size` صراحةً، فإننا سنضطرّ إلى تحديثه في كل مرة نضيف فيها عنصرًا إلى القائمة أو نحذفه منها. يؤدي ذلك إلى إبطاء تلك التوابع نوعًا ما، ولكنـه لن يُـؤثر على تـرتيب النمـو الخـاص بهـا، ولذلك فلربما الأمر يستحق.

يضبُط الباني قيمة `head` إلى `null`، مما يشير إلى كون القائمة فارغة، كما يضبُط `size` إلى صفر.

يَستخدِم هذا الصنف معامـل نـوع type parameter اسـمه `E` لتخصـيص نـوع العناصـر. إذا لم تكن على معرفة بمعاملات الأنواع، اقرأ هذا الدرس (باللغة التي تريد).

يَظهَر معامل النوع أيضًا بتعريف الصنف `Node` المُضمَّن داخل الصنف `MyLinkedList`. انظر تعريفه:

```
    private class Node {
        public E data;
        public Node next;

        public Node(E data, Node next) {
            this.data = data;
            this.next = next;
        }
    }
```

أضف إلى هذا أن الصنف `Node` مشابهٌ تمامًا للصنف `ListNode` في الأعلى.

والآن، انظر إلى تنفيذ التابع `add`:

```
    public boolean add(E element) {
        if (head == null) {
            head = new Node(element);
        } else {
            Node node = head;
            // نفذ الحلقة حتى تصل إلى العقدة الأخيرة
            for ( ; node.next != null; node = node.next) {}
            node.next = new Node(element);
        }
        size++;
        return true;
    }
```

يُوضِّح هذا المثال نمطين ستحتاج لمعرفتهما لإكمال حل التمرين:

1. في كثير من التوابع، عادةً ما نضطرّ إلى معالجة أول عنصرٍ في القائمة بطريقةٍ خاصة. وفي هـذا المثـال، إذا كنا نضيف العنصر الأول الى القائمة، فعلينا أن نُعدِّل قيمة `head`، أما في الحالات الأخرى، فعلينا أن نجتاز القائمة، حتى نصل إلى نهايتها، ثم نضيف العقدة الجديدة.
2. يُبيّن ذلك التابع طريقة استخدام حلقة التكرار `for` من أجـل اجتيـاز أو التنقـل بين العقـد الموجـودة في القائمة. في مثالنا هذا لدينا حلقة واحـدة. ولكن في الواقـع قـد تحتـاج إلى كتابـة نسـخٍ عديـدةٍ من تلـك الحلقة ضمن الحلول الخاصة بك. من جهـة أخـرى، لاحِـظ كيـف صـرّحنا عن `node` قبـل بدايـة الحلقـة؛ والهدف من ذلك هو أن نتمكَّن من استرجاعها بعد انتهاء الحلقة.

والآن حان دورك، أكمل متن التابع `indexOf`. ويجب أن تقرأ مقـال توثيـق List indexOf لكي تعـرف مـا ينبغي عليك القيام به. انتبه تحديدًا للطريقة التي يُفترَض له معالجة القيمة الفارغة `null` بها.

كما هو الحال في تمرين الفصل السابق، وفَّرنا التـابع المسـاعد `equals` للموازنـة بين قيمـة عنصـرٍ ضـمن المصفوفة وبين قيمةٍ معينةٍ أخـرى، وفَحْص مـا إذا كـانت القيمتـان متسـاويتين. يُعـالِج التـابع القيمـة الفارغـة معالجـةً سـليمة. لاحِـظ أن التـابع مُعـرَّفٌ باسـتخدام المُعـدِّل `private`؛ لأنـه ليس جـزءًا من الواجهـة `List`، ويُستخدَم فقط داخل الصنف.

شـغِّل الاختبـارات مـرةً أخـرى عنـدما تنتهي. ينبغي أن ينجح الاختبـار `testIndexOf` وكـذلك الاختبـارات الأخرى التي تعتمد عليه.

والآن، عليك أن تكمـل نسـخة التـابع `add` ذات المعـاملين. تَسـتقبِل تلـك النسـخة فهرسًـا وتُخـزِّن القيمـة الجديدة في الفهرس المُمرَّر. وبالمثل، اقرأ أولًا التوثيق List add ثم نفِّذ التـابع، وأخـيرًا، شـغِّل الاختبـارات لكي تتأكّد من أنك نفّذتها بشكل سليم.

لننتقل الآن إلى التابع الأخير: أكمل متن التابع `remove`. اقرأ توثيق التابع List remove. بعدما تنتهي من إكمال هذا التابع، ينبغي أن تنجح جميع الاختبارات.

بعد أن تُنهِي جميع التوابع وتتأكَّد من أنها تَعمَل بكفاءة، يُمكِنك مقابتها مع النسخ المتاحة في مجلد `solution` في مستودع الكتاب.

3.6 ملحوظة متعلقة بكنس المهملات garbage collection

تنمو المصفوفة في الصنف `MyArrayList` -من التمرين المشار إليه- عند الضرورة، ولكنها لا تتقلص أبدًا، وبالتالي لا تُكنَس المصفوفة ولا يُكنَس أي من عناصرها حتى يحين موعد تدمير القائمة ذاتها. في المقابل، تتقلص القائمة المترابطة عند حذف العناصر منها، كما تُكنَس العقد غير المُستخدَمة مباشرةً، وهو ما يُمثِل واحدةً من مميزات هذا النوع من هياكل البيانات.

انظر إلى تنفيذ التابع `clear`:

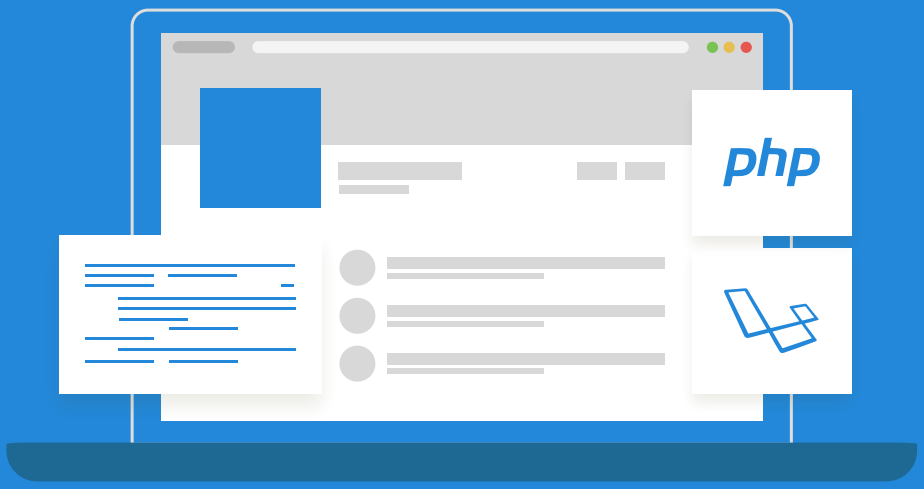
```
    public void clear() {
        head = null;
        size = 0;
    }
```

عندما نضبُط قيمة الرأس `head` بالقيمة `null`، فإننا نحذف المرجع إلى العقدة الأولى. إذا لم تكن هناك أي مراجع أخرى إلى ذلك الكائن (من المفترض ألا يكون هناك أي مراجع أخرى)، فسيُكنَس الكائن مباشرةً. في تلك اللحظة، سيُحذَف المرجع إلى الكائن المُمثِل للعقدة الثانية، وبالتالي يُكنَس بدوره أيَضًا. وستستمر تلك العملية إلى أن تُكنَس جميع العقد.

بناءً على ما سبق، ما هو تصنيف التابع `clear`؟ يتضمَّن التابع عمليتين ثابتتي الزمن، ويبدو لهذا كما لو أنه يستغرِق زمنًا ثابتًا، ولكنك عندما تستدعيه ستُحفزّ كانس المهملات على إجراء عملية تتناسب مع عدد العناصر، ولذلك ربما علينا أن نَعُدّه خطّيَّ الزمن.

يُعدّ هذا مثالًا على ما نُسميه أحيانًا بمشكلة برمجية في الأداء، أي أن البرنامج يفعل الشيء الصحيح، ولكنه لا ينتمي إلى ترتيب النمو المُتوقَّع. يَصعُب العثور على هذا النوع من الأخطاء خاصةً في اللغات التي تُنفِّذ أعمالًا كثيرةً وراء الكواليس مثل عملية كنس المهملات مثلاً، وتُعدّ لغة جافا واحدةً من تلك اللغات.

دورة تطوير تطبيقات الويب
باستخدام لغة PHP



احترف تطوير النظم الخلفية وتطبيقات الويب
من الألف إلى الياء دون الحاجة لخبرة برمجية مسبقة

التحق بالدورة الآن

4. القائمة المترابطة LinkedList

سنتناول في هذا الفصل حل تمرين الفصل الثالث، ثم نتابع مناقشة تحليل الخوارزميات.

4.1 تصنيف توابع الصنف MyLinkedList

تَعرِض الشيفرة التالية تنفيذ التابع `indexOf`. اقرأها وحاول تحديد ترتيب نمـو order of growth التـابع قبل المتابعة:

```
    public int indexOf(Object target) {
        Node node = head;
        for (int i=0; i<size; i++) {
            if (equals(target, node.data)) {
                return i;
            }
            node = node.next;
        }
        return -1;
    }
```

تُسنَد `head` إلى `node` أولًا، ويعني هذا أنّ كليهما يشير الآن إلى نفس العقدة. يَعُـدّ المُتغيّـرُ `i` هـو المُتحكِّم بالحلقـة من 0 إلى `size-1`، ويَسـتدعِي في كـل تكـرارٍ التـابعَ `equals` ليفحص مـا إذا كـان قـد وجـد القيمـة المطلوبة. فإذا وجدها، فسيعيد قيمة `i` على الفور؛ أما إذا لم يجدها، فسينتقل إلى العقدة التالية ضمن القائمة.

عادةً ما نتأكَّد أولًا مما إذا كانت العقدة التالية لا تحتوي على قيمة فارغة null، ولكن ليس هذا ضـروريًا في حالتنا؛ لأن الحلقة تنتهي بمجرد وصولنا إلى نهاية القائمة (بفرض أن قيمة size مُتّسقةٌ مع العدد الفعلي للعقد الموجودة ضمن القائمة).

إذا نفَّذنا الحلقة بالكامل دون العثور على القيمة المطلوبة، فسيعيد التابع القيمة -1.

والآن، ما هو ترتيب نمو هذا التابع؟

1. إننا نستدعِي في كل تكرار التابع equals الذي يَسـتغرِق زمنًـا ثابتًـا (قـد يعتمـد على حجم target أو data، ولكنه لا يعتمد على حجم القائمة). تستغرق جميع التعليمـات الأخـرى ضـمن الحلقـة زمنًـا ثابتًـا أيضًا.
2. تُنفَّذ الحلقة عددًا من المرات مقداره n لأننا قد نضطّر إلى التنقل في القائمة بالكامل في الحالة الأسوأ.

وبالتالي يتناسب زمن تنفيذ ذلك التابع مع طول القائمة.

والآن، انظر إلى تنفيذ التابع add ذي المعاملين، وحاول تصنيفه قبل متابعة القراءة.

```
    public void add(int index, E element) {
        if (index == 0) {
            head = new Node(element, head);
        } else {
            Node node = getNode(index-1);
            node.next = new Node(element, node.next);
        }
        size++;
    }
```

إذا كان index يُساوِي الصِّفر، فإننا نضيف العقدة الجديدة إلى بدايـة القائمـة، ولهـذا علينـا أن نُعـالِج ذلـك مثل حالة خاصة. وبخلاف ذلك سنضطرّ إلى التنقل في القائمة إلى أن نصِـل إلى العنصـر الموجـود في الفهـرس index-1، كما سنستخدِم لهذا الهدف التابعَ المساعدَ getNode، وفيما يلي شيفرته:

```
    private Node getNode(int index) {
        if (index < 0 || index >= size) {
            throw new IndexOutOfBoundsException();
        }
        Node node = head;
        for (int i=0; i<index; i++) {
            node = node.next;
```

```
        }
        return node;
    }
```

يفحص التابع `getNode` ما إذا كانت قيمة `index` خارج النطاق المسموح به، فإذا كانت كـذلك، فإنـه يُبلِّغ عن اعتراض exception؛ أما إذا لم تكن كذلك، فإنه يمرّ عبر عناصر القائمة ويعيد العقدة المطلوبة.

الآن وقد حصلنا على العقدة المطلوبة، نعود إلى التـابع `add` وننشـئ عقـدةً جديـدةً، ونضـعها بين العقـدتين `node` و`node.next`. قد يساعدك رسم هذه العملية على التأكد من فهمها بوضوح.

والآن، ما هو ترتيب نمو التابع `add`؟

1. يشبه التابع `getNode` التابع `indexOf`، وهو خطّيٌّ لنفس السبب.
2. تَستغرِق جميع التعليمات زمنًا ثابتًا سواءٌ قبل استدعاء التابع `getNode` أوبعد اسـتدعائه ضـمن التـابع `add`.

وعليه، يكون التابع `add` خطيًّا.

وأخيرًا، لنُلقِ نظرةً على التابع `remove`:

```
    public E remove(int index) {
        E element = get(index);
        if (index == 0) {
            head = head.next;
        } else {
            Node node = getNode(index-1);
            node.next = node.next.next;
        }
        size--;
        return element;
    }
```

يَستدعِي `remove` التابع `get` للعثـور على العنصـر الموجـود في الفهـرس `index` ثم عنـدما يجـده يحـذف العقدة التي تتضمنه.

إذا كان `index` يُساوي الصفر، نُعالِج ذلك مثل حالة خاصة. وإذا لم يكن يساوي الصفر فسنذهب إلى العقدة الموجودة في الفهرس `index-1`، وهي العقدة التي تقع قبل العقدة المستهدفة بالحذف، ونُعدِّل حقل next فيها ليشير مباشرةً إلى العقدة `node.next.next`، وبذلك نكون قد حذفنا العقدة من `node.next`

القائمة، ومن ثمَّ تُحرّر الذاكرة التي كانت تحتّلها عن طريق الكنس garbage collection. وأخيرًا، يُنقِص التابع قيمة `size` ويُعيد العنصر المُسترجَع في البداية.

والآن بناءً على ما سبق، ما هو ترتيب نمو التابع `remove`؟ تَستغرِق جميع التعليمات في ذلك التابع زمنًا ثابتًا باستثناء استدعائه للتابعين `get` و`getNode` اللذين يستغرقان زمنًا خطّيًّا. وبناءً على ذلك يكون التابع `remove` خطّيًّا هو الآخر.

يظن بعض الأشخاص عندما يرون عمليتين خطّيّتين أن النتيجة الإجمالية ستكون تربيعيّةً، ولكن هذا ليس صحيحًا إلا إذا كانت إحداهما داخل الأخرى؛ أما إذا استُدعِيت إحداهما تلو الأخرى، فستُحسَب المُحصلة بجمع زمنيهما، ولأن كليهما ينتميان إلى المجموعة O(n)، فسينتمي المجموع إلى O(n) أيضًا.

4.2 الموازنة بين الصنفين MyArrayList وMyLinkedList

يُلخِّص الجدول التالي الاختلافات بين الصنفين `MyArrayList` و`MyLinkedList`. يشير `1` إلى المجموعة O(1) أو الزمن الثابت، بينما يشير `n` إلى المجموعة O(n) أو الزمن الخطّي:

	MyArrayList	MyLinkedList
`add` (في النهاية)	1	n
`add` (في البداية)	n	1
`add` (في العموم)	n	n
`get` / `set`	1	n
`indexOf` / `lastIndexOf`	n	n
`isEmpty` / `size`	1	1
`remove` (من النهاية)	1	n
`remove` (من البداية)	n	1
`remove` (في العموم)	n	n

في حالتي إضافة عنصر أو حذفه من نهاية القائمة، فإنّ الصنف `MyArrayList` هو أفضلُ من نظيره `MyLinkedList`، وكذلك في عمليتي الاسترجاع والتعديل؛ أمّا في حالتي إضافة عنصر أو حذفه من مقدّمة القائمة، فإن الصنف `MyLinkedList` هو أفضل من نظيره `MyArrayList`.

يحظى الصنفان بنفس ترتيب النمو بالنسبة للعمليات الأخرى.

إذًا، أيهما أفضل؟ يعتمد ذلك على العمليات التي يُحتمل استخدامها أكثر، وهذا السبب هو الذي يجعل جافا تُوفِّر أكثر من تنفيذٍ implementation وحيد.

4.3 التشخيص Profiling

ستحتاج إلى الصنف `Profiler` في التمرين التالي. يحتوي هـذا الصـنف على شـيفرة بإمكانهـا أن تُشـغِّل تابعًا ما على مشاكلَ ذات أحجامٍ متفاوتةٍ، وتقيس زمن التشغيل لكلٍّ منها، وتَعرِض النتائج.

ستَسـتخدِم الصـنف `Profiler` لتصـنيف أداء التـابع `add` المُعـرَّف في كـلٍّ من الصـنفين `ArrayList` و`LinkedList` اللذين تُوفِّرهما لغة جافا.

تُوضِّح الشيفرة التالية طريقة استخدام ذلك الصنف:

```
    public static void profileArrayListAddEnd() {
        Timeable timeable = new Timeable() {
            List<String> list;

            public void setup(int n) {
                list = new ArrayList<String>();
            }

            public void timeMe(int n) {
                for (int i=0; i<n; i++) {
                    list.add("a string");
                }
            }
        };

        String title = "ArrayList add end";
        Profiler profiler = new Profiler(title, timeable);

        int startN = 4000;
        int endMillis = 1000;
        XYSeries series = profiler.timingLoop(startN, endMillis);
        profiler.plotResults(series);
    }
```

يقيس التابعُ السابقُ الزمنَ الذي يستغرقه تشغيلُ التابعِ `add` الذي يُضيف عنصرًا جديدًا في نهاية قائمةٍ من النوع `ArrayList`. سنشرح الشيفرة أولًا ثم نَعرِض النتائج.

لكي يتمكَّن الصنف `Profiler` من أداء عمله، سنحتاج أولًا إلى إنشاء كائنٍ من النوع `Timeable`. يُوفِّر هذا الكائنُ التابعين `setup` و`timeMe`، حيث يُنفِّذ التابع `setup` كل ما ينبغي فعله قبل بدء تشغيل المؤقت، وفي هذا المثال سيُنشِئ قائمةً فارغة، أمّا التابع `timeMe` فيُنفِّذ العملية التي نحاول قياس أدائها. في هذا المثال، سنجعله يُضيف عددًا من العناصر مقداره n إلى القائمة.

لقد عرَّفنا الشيفرة المسؤولة عن إنشاء المتغير `timeable` ضمن صنفٍ مجهول الاسم anonymous، حيث يُعرِّف ذلك الصنف تنفيذًا جديدًا للواجهة `Timeable`، ويُنشِئ نسخةً من الصنف الجديد في نفس الوقت. إذا لم يكن لديك فكرةٌ عن الأصناف مجهولة الاسم، فسنحيلك إلى المقالة ما هي الأصناف مجهولة الاسم؟ (باللغة الإنجليزية) والفصل الأصناف المتداخلة Nested Classes في جافا.

ولكنك على كل حالٍ لست في حاجةٍ إلى معرفة الكثير عنها لحل التمرين التالي، ويُمكِنك نسخ شيفرة المثال وتعديلها.

والآن سننتقل إلى الخطوة التالية، وهي إنشاء كائن من الصنف `Profiler` مع تمرير معاملين له هما: العنوان title وكائن من النوع `Timeable`.

يحتوي الصنف `Profiler` على التابع `timingLoop`. يستخدم ذلك التابعُ الكائنَ `Timeable` المُخزَّن مثل متغيِّرِ نُسْخَةٍ instance variable، حيث يَستدعِي تابعه `timeMe` عدة مراتٍ مع قيم مختلفةٍ لحجم المشكلة `n` في كل مرة. ويَستقبِل التابع `timingLoop` المعاملين التاليين:

- `startN`: هي قيمة `n` التي تبدأ منها الحلقة.
- `endMillis`: عبارة عن قيمة قصوى بوحدة الميلي ثانية. يزداد زمن التشغيل عندما يُزيد التابع `timingLoop` حجم المشكلة، وعندما يتجاوز ذلك الزمنُ القيمةَ القصوى المُحدّدة، فينبغي أن يتوقف التابع `timingLoop`.

قد تضطّر إلى ضبط قيم تلك المعاملات عند إجراء تلك التجارب، فإذا كانت قيمة `startN` ضئيلةً للغاية، فلن يكون زمن التشغيل طويلًا بما يكفي لقياسه بدقّة، وإذا كانت قيمة `endMillis` صغيرةً للغاية، فقد لا تحصل على بياناتٍ كافيةٍ لاستنباط العلاقة بين حجم المشكلة وزمن التشغيل.

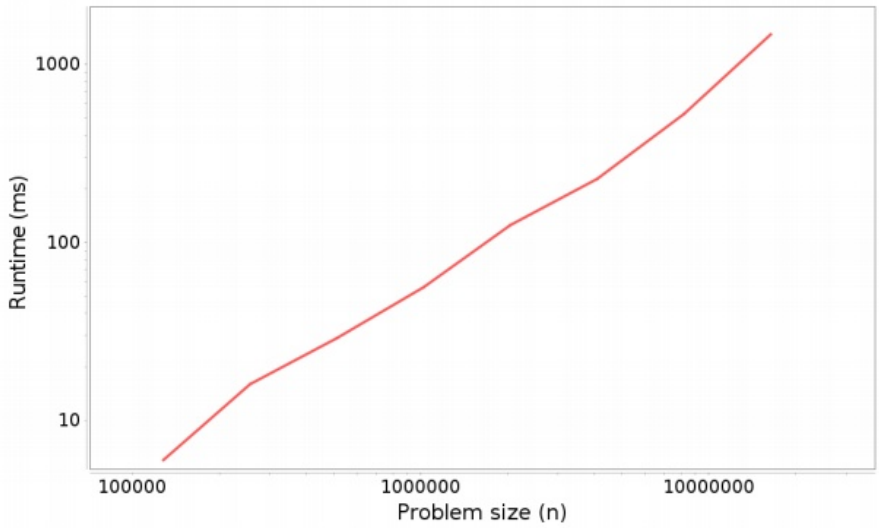
ستجِد تلك الشيفرة -التي ستحتاج إليها في التمرين التالي- في الملف `ProfileListAdd.java`، والتي حصلنا عند تشغيلها على الخرج التالي:

```
3
0
1
2
3
```

```
6
18
30
88
185
242
544
1325
```

يُمثِل العمود الأول حجم المشكلة n، أما العمود الثاني فيُمثِل زمن التشغيل بوحدة الميلي ثانية. كما تلاحظ، فالقياسات القليلة الأولى ليست دقيقةً تمامًا وليس لها مدلول حقيقي، ولعلّه كان من الأفضل ضبط قيمة `startN` إلى 64000.

يُعيد التابعُ `timingLoop` النتائجَ بهيئة كائن من النوع `XYSeries`، ويُمثِل متتاليةً تحتوي على القياسات. إذا مرَّرتها إلى التابع `plotResults`، فإنه يَرسِم شكلًا بيانيًا -مشابها للموجود في الصورة التالية- وسنشرحه طبعًا في القسم التالي.



4.4 تفسير النتائج

بناءً على فهمنا لكيفية عمل الصنف `ArrayList`، فإننا نتوقَّع أن يستغرق التابع `add` زمنًا ثابتًا عندما نضيف عناصرَ إلى نهاية القائمة، وبالتالي ينبغي أن يكون الزمنُ الكلّيُّ لإضافة عددٍ من العناصر مقداره n زمنًا خطيًا.

لكي نختبر صحة تلك النظرية، سنَعرِض تأثير زيادة حجم المشكلة على زمن التشغيل الكلّي. من المفترض أن نحصل على خطٍّ مستقيمٍ على الأقل لأحجام المشكلة problem size الكبيرة بالقدر الكافي لقياس زمن التشغيل runtime بدقة. ويُمكِننا كتابةُ دالّة هذا الخط المستقيم رياضيًّا على النحو التالي:

```
runtime = a + b*n
```

حيث يشير a إلى إزاحةِ الخط وهو قيمة ثابتة و b إلى ميل الخط.

في المقابل، إذا كان التابع add خطّيًّا، فسيكون الزمن الكليُّ لتنفيذ عددٍ من الإضافات بمقدار n تربيعيًا. وعندها إذا نظرنا إلى تأثير زيادة حجم المشكلة على زمن التشغيل، فسنتوقَّع الحصول على قطعٍ مكافئٍ parabola، والذي يُمكِن كتابة معادلته رياضيًّا على النحو التالي:

```
runtime = a + b*n + c*n^2
```

إذا كانت القياسات التي حصلنا عليها دقيقةً فسنتمكَّن بسهولةٍ من التمييز بين الخط المستقيم والقطع المكافئ، أمّا إذا لم تكن دقيقةً تمامًا، فقد يكون تمييز ذلك صعبًا إلى حدٍّ ما، وعندئذٍ يُفضّلُ استخدام مقياس لوغاريتمي-لوغاريتمي log-log لعرض تأثير حجم المشكلة على زمن التشغيل.

ولِنَعرِفَ السببَ، لنفترض أن زمن التشغيل يتناسب مع n^k، ولكننا لا نعلم قيمة الأس k. يُمكِننا كتابة تلك العلاقة على النحو التالي:

```
runtime = a + b*n + … + c*n^k
```

كما ترى في المعادلة السابقة، فإنّ الأساس ذا الأسّ الأكبر هو الأهم من بين القيم الكبيرة لحجم المشكلة، وبالتالي يُمكِن تقريبيًّا إهمال باقي الحدود وكتابة العلاقة على النحو التالي:

```
runtime ≈ c * n^k
```

حيث نعني بالرمز ≈ "يساوي تقريبًا"، فإذا حسبنا اللوغاريتم لطرفي المعادلة، فستصبح مثل الآتي:

```
log(runtime) ≈ log(c) + k*log(n)
```

تعني المعادلة السابقة أنه لو رسمنا زمن التشغيل مقابل حجم المشكلة n باستخدام مقياس لوغاريتمي-لوغاريتمي، فسنرى خطًا مستقيمًا بثابتٍ -يمثل الإزاحة- يساوي log(c) وبميل يساوي k. لا يهمنا الثابت هنا وإنما يهمنا الميل k، فهو الذي يشير إلى ترتيب النمو. وزبدةُ الكلام أنه إذا كانت قيمة k تساوي 1، فالخوارزميةُ خطيّة؛ أما إذا كانت تساوي 2، فالخوارزمية تربيعيّة.

إذا تأمّلنا في الرسم البيانيّ السابق، يُمكِننا أن نُقدِّر قيمة المَيْلِ تقريبيًا، في حين لو استدعينا التابع `plotResults`، فسيحسب قيمة الميل بتطبيق طريقة المربعات الدنيا least squares fit على القياسات، ثم يَطبَعه. و قد كانت قيمة الميل التي حصل عليها التابع:

```
Estimated slope = 1.06194352346708
```

أي تقريبًا يساوي 1. إذًا فالزمنُ الكلي لإجراء عدد مقداره n من الإضافات هو زمن خطي، وزمن كل إضافة منها ثابت كما توقعنا.

> إذا رأيت خطًا مستقيمًا في رسمة مشابهة للرسمة السابقة، فهذا لا يَعنِي بالضرورة أن الخوارزميّة خطّيّة. إذا كان زمن التشغيل متناسبًا مع n^k لأي أس k، فمن المتوقع أن نرى خطًا مستقيمًا ميله يساوي k. فإذا كان الميل أقرب للواحد الصحيح، فمن المُرجَّح أن تكون الخوارزمية خطية؛ أما إذا كان أقرب لاثنين، فيُحتمَل أن تكون تربيعية.

4.5 تمرين 4

ستجد ملفات الشيفرة المطلوبة لهذا التمرين في مستودع الكتاب.

1. `Profiler.java`: يحتوي على تنفيذ الصنف `Profiler` الذي شرحناه فيما سبق. ستَستخدِم ذلك الصنف، ولن تحتاج لفهم طريقة عمله، ومع ذلك يُمكِنك الاطلاع على شيفرته إن أردت.
2. `ProfileListAdd.java`: يحتوي على شيفرة تشغيل التمرين، بما في ذلك المثال العلوي الذي شخَّصنا خلاله التابع `ArrayList.add`. ستُعدِّل هذا الملف لتُجرِي التشخيص على القليل من التوابع الأخرى.

ستجد ملف البناء `build.xml` في المجلد `code` أيضًا.

نفِّذ الأمر `ant ProfileListAdd` لكي تُشغِّل الملف `ProfileListAdd.java`. ينبغي أن تحصل على نتائج مشابهة للصورة المُرفقة في الأعلى، ولكنك قد تضطّر إلى ضبط قيمة المعاملين `startN` و`endMillis`. ينبغي أن يكون الميل المُقدَّر قريبًا من 1، مما يَعني أن تنفيذ عدد n من عمليات الإضافة يستغرق زمنًا متناسبًا مع n مرفوعة للأس 1، أي ينتمي إلى المجموعة O(n). ستجد تابعًا فارغًا اسمه `profileArrayListAddBeginning` في الملف `ProfileListAdd.java`. املأه بشيفرةٍ تفحص التابع `ArrayList.add` جاعلًا إياه يُضيِف العنصر الجديد دائمًا إلى بداية القائمة. إذا نَسخَت شيفرة التابع `profileArrayListAddEnd`، فستحتاج فقط إلى إجراء القليل من التعديلات. في الأخير، أضف سطرًا ضمن التابع `main` لاستدعاء تلك الدالة.

نفِّذ الأمر `ant ProfileListAdd` مرةً أخرى وفسِّر النتائج. بناءً على فهمنا لطريقة عمل الصنف `ArrayList`، فإننا نتوقَّع أن تَستغرِق عملية الإضافة الواحدة زمنًا خطيًا، وبالتالي سيكون الزمن الكلي الذي

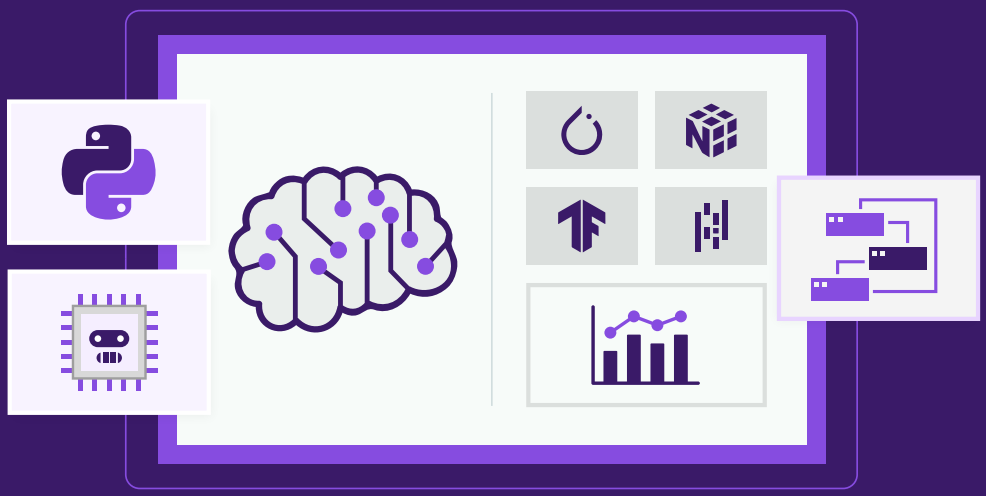
يَستغرِقه عدد مقداره n من الإضافات تربيعيًا. إن كان ذلك صحيحًا، فإن الميل المُقدَّر للخط بمقياس لوغاريتمي-لوغاريتمي ينبغي أن يكون قريبًا من 2.

بعد ذلك، وازن ذلك الأداء مع أداء الصنف `LinkedList`. املأ متن التابع `profileLinkedListAddBeginning` واستخدمه لتصنيف التابع `LinkedList.add` بينما يُضيِف عنصرًا جديدًا إلى بداية القائمة. ما الأداء الذي تتوقعه؟ وهل تتوافق النتائج مع تلك التوقعات؟

أخيرًا، املأ متن التابع `profileLinkedListAddEnd`، وإستخدَمه لتصنيف التابع `LinkedList.add` بينما يُضيِف عنصرًا جديدًا إلى نهاية القائمة. ما الأداء الذي تتوقعه؟ وهل تتوافق النتائج مع تلك التوقعات؟

سنَعرِض النتائج ونجيب على تلك الأسئلة في الفصل التالي.

دورة الذكاء الاصطناعي



مميزات الدورة

- بناء معرض أعمال قوي بمشاريع حقيقية
- وصول مدى الحياة لمحتويات الدورة
- تحديثات مستمرة على الدورة مجانًا
- شهادة معتمدة من أكاديمية حسوب
- إرشادات من المدربين على مدار الساعة
- من الصفر دون الحاجة لخبرة مسبقة

اشترك الآن

5. القائمة ازدواجية الترابط

Doubly-Linked List

سنراجع في هذا الفصل نتائج تمرين الفصل الرابع السابق، ثم سنُقدِّم تنفيذًا آخرَ للواجهة `List`، وهو القائمة ازدواجية الترابط doubly-linked list.

5.1 نتائج تشخيص الأداء

اِستخدَمنا الصنف `Profiler.java` -في التمرين المشار إليه- لكي نُطبِّق عمليات الصنفين `ArrayList` و`LinkedList` على أحجام مختلفة من المشكلة، ثم عرضنا زمن التشغيل مقابل حجم المشكلة بمقياس لوغاريتمي-لوغاريتمي log-log، وقدّرنا ميل المنحني الناتج. يُوضِّح ذلك الميل العلاقة بين زمن التشغيل وحجم المشكلة.

فعلى سبيل المثال، عندما استخدمنا التابع `add` لإضافة عناصر إلى نهاية قائمة من النوع `ArrayList`، وجدنا أن الزمن الكلّي لتنفيذ عدد n من الإضافات يتناسب مع n، أي أن الميل المُقدَّر كان قريبًا من 1، وبناءً على ذلك استنتجنا أن تنفيذ عدد n من الإضافات ينتمي إلى المجموعة O(n)، وأن تنفيذَ إضافةٍ واحدةٍ يتطلَّب زمنًا ثابتًا في المتوسط، أي أنه ينتمي إلى المجموعة O(1)، وهو نفس ما توصلنا إليه باستخدام تحليل الخوارزميات.

كان المطلوب من ذلك التمرين هو إكمال متن التابع `profileArrayListAddBeginning` الذي يُشخِّص عملية إضافة عناصر جديدة إلى بداية قائمة من النوع `ArrayList`. وبناءً على تحليلنا للخوارزمية، فقد توقّعنا أن يتطلَّب تنفيذ إضافة واحدة زمنًا خطيًا بسبب تحريك العناصر الأخرى إلى اليمين، وعليه توقَّعنا أن يتطلَّب تنفيذ عدد n من الإضافات زمنًا تربيعيًا.

انظر إلى حل التمرين الذي ستجده في مجلد الحل داخل مستودع الكتاب:

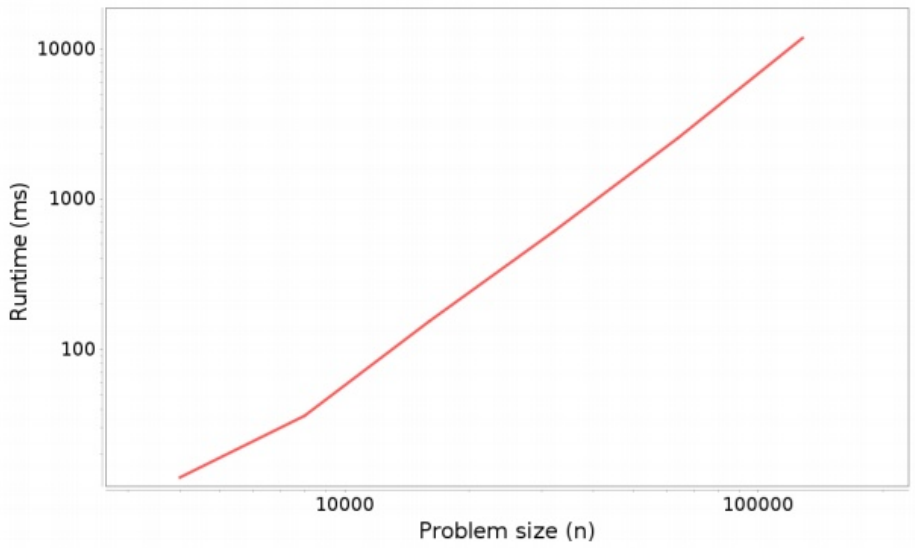
```
    public static void profileArrayListAddBeginning() {
        Timeable timeable = new Timeable() {
            List<String> list;

            public void setup(int n) {
                list = new ArrayList<String>();
            }

            public void timeMe(int n) {
                for (int i=0; i<n; i++) {
                    list.add(0, "a string");
                }
            }
        };
        int startN = 4000;
        int endMillis = 10000;
        runProfiler("ArrayList add beginning", timeable, startN,
endMillis);
    }
```

يتطابق هذا التابع تقريبًا مع التابع `profileArrayListAddEnd`، فالفارق الوحيد موجود في التابع `timeMe`، حيث يَستخدِم نسخةً ثنائيةَ المعامل من التابع `add` لكي يضع العناصر الجديدة في الفهرس 0، كما أنه يزيد من قيمة `endMillis` لكي يحصل على نقطة بياناتٍ إضافيّة.

انظر إلى النتائج (حجم المشكلة على اليسار وزمن التشغيل بوحدة الميلي ثانية على اليمين):

```
14
35
150
604
2518
11555
```

تَعرِض الصورة التالية رسمًا بيانيًا لزمن التشغيل runtime مقابل حجم المشكلة problem size.



لا يَعنِي ظهور خـط مسـتقيم في هـذا الرسـم البيـاني أن الخوارزميـة خطّيّـة، وإنمـا يعـني أنـه إذا كـان زمن التشغيل متناسـبًا مـع n^k لأي أس k، فإنـه من المتوقَّع أن نـرى خطًّا مسـتقيمًا ميلـه يسـاوي k. نتوقَّع في هـذا المثال أن يكون الزمنُ الكلّيّ لعدد n من الإضافات متناسبًا مع n^2، وأن نحصل على خطٍّ مستقيمٍ بميـلٍ يسـاوي 2، وفي الحقيقة يساوي الميل المُقدَّر 1.992 تقريبًا، وهو في الحقيقة دقيق جدًا لدرجةٍ تجعلنا لا نرغب في تزوير بيانات بهذه الجودة.

5.2 تشخيص توابع الصنف LinkedList

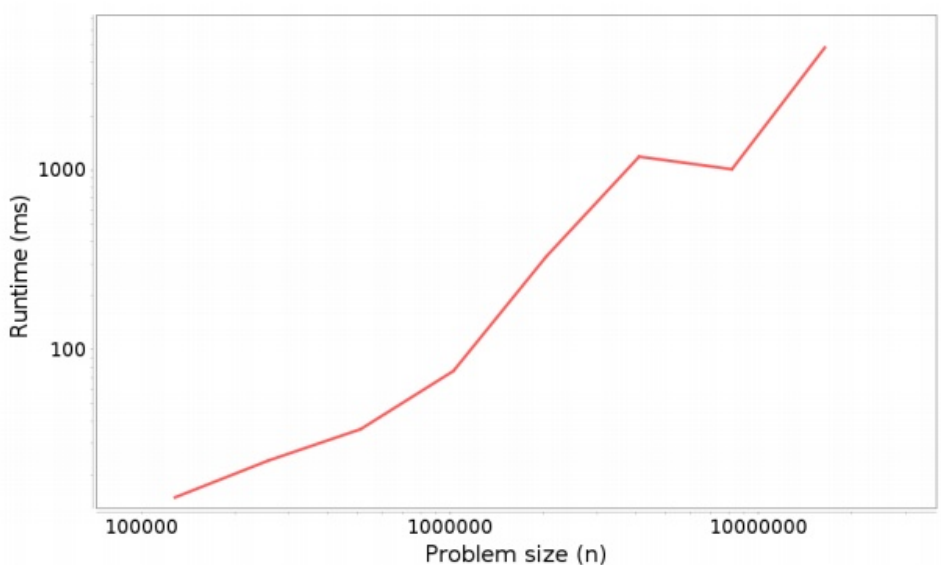
طلبَ التمرين المشار إليه منك أيضًا تشخيص أداء عملية إضافة عناصرَ جديـدةٍ إلى بدايـة قائمـةٍ من النـوع `LinkedList`. وبناءً على تحليلنا للخوارزمية، توقّعنا أن يتطلَّب تنفيذ إضافةٍ واحدةٍ زمنًا ثابتًا؛ لأننا لا نضـطّر إلى تحريك العناصر الموجودة في هذا النوع من القوائم، وإنما نضيف فقـط عقـدةً جديـدةً إلى بدايـة القائمـة، وعليـه توقَّعنا أن يتطلَّب تنفيذ عدد n من الإضافات زمنًا خطّيًّا. انظر شيفرة الحل:

```
    public static void profileLinkedListAddBeginning() {
        Timeable timeable = new Timeable() {
            List<String> list;

            public void setup(int n) {
                list = new LinkedList<String>();
            }

            public void timeMe(int n) {
                for (int i=0; i<n; i++) {
                    list.add(0, "a string");
```

```
                }
            }
        };
        int startN = 128000;
        int endMillis = 2000;
        runProfiler("LinkedList add beginning", timeable, startN,
endMillis);
    }
```

اضطرّرنا إلى إجراء القليل من التعـديلات، فعـدّلنا الصـنف `ArrayList` إلى الصـنف `LinkedList`، كمـا ضبطنا قيمة المعاملين `startN` و`endMillis` لكي نحصل على قياسات مناسبة، فقـد لاحظنـا أن القياسـات ليست بدقة القياسات السابقة. انظر إلى النتائج:

```
16
19
28
77
330
892
1047
4755
```



لم نحصل على خط مستقيم تمامًا، وميل الخيط لا يساوي 1 بالضبط، وقد قدَّرت المربعات الدنيا least squares fit الميل بحوالي 1.23، ومع ذلك تشير تلك النتائج إلى أن الزمن الكلي لعدد n من الإضافات ينتمي إلى المجموعة O(n) على الأقل، وبالتالي يتطلَّب تنفيذُ إضافةٍ واحدةٍ زمنًا ثابتًا.

5.3 الإضافة إلى نهاية قائمة من الصنف LinkedList

تُعدّ إضافة العناصر إلى بداية القائمة واحدةً من العمليات التي نتوقَّع أن يكون الصنف `LinkedList` أثناء تنفيذها أسرع من الصنف `ArrayList`؛ وفي المقابل، بالنسبة لإضافة العناصر إلى نهاية القائمة، فإننا نتوقَّع أن يكون الصنف `LinkedList` أبطأ، حيث يضطّر تابع الإضافة إلى المرور عبر قائمة العناصر بالكامل لكي يتمكَّن من إضافة عنصر جديد إلى النهاية، مما يَعنِي أن العملية خطية، وعليه نتوقَّع أن يكون الزمن الكلي لعدد n من الإضافات تربيعيًا.

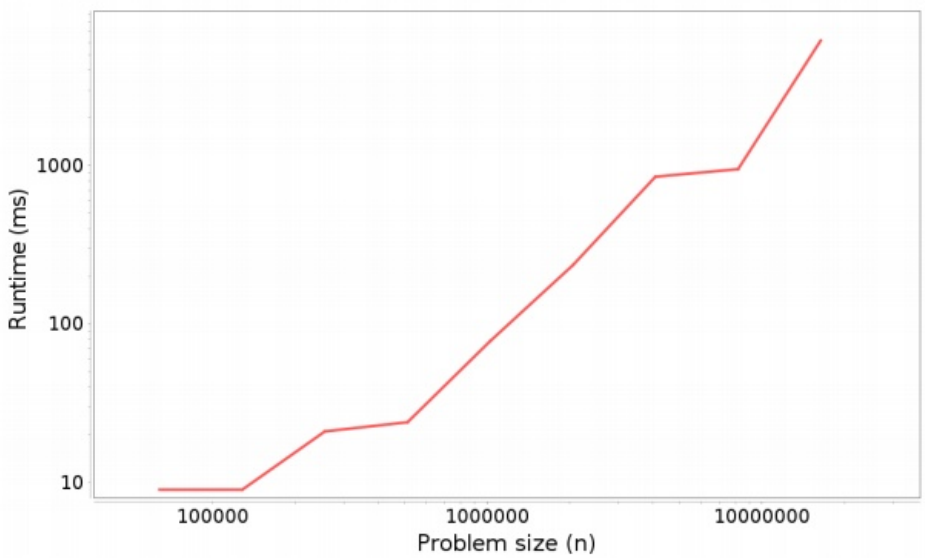
في الواقع هذا ليس صحيحًا، ويمكنك الاطلاع إلى الشيفرة التالية:

```
    public static void profileLinkedListAddEnd() {
        Timeable timeable = new Timeable() {
            List<String> list;

            public void setup(int n) {
                list = new LinkedList<String>();
            }

            public void timeMe(int n) {
                for (int i=0; i<n; i++) {
                    list.add("a string");
                }
            }
        };
        int startN = 64000;
        int endMillis = 1000;
        runProfiler("LinkedList add end", timeable, startN,
endMillis);
    }
```

ها هي النتائج التي حصلنا عليها:

```
9
9
```

```
21
24
78
235
851
950
6160
```



كما ترى هنا فالقياسات غير دقيقة أيضًا، كما أن الخط ليس مستقيمًا تمامًا، والميل المُقـدّر يُسـاوِي 1.19، وهو قريبٌ لما حصلنا عليه عند إضافة العناصر إلى بداية القائمة، وليس قريبًا من 2 الذي توقّعنا أن نحصل عليـه بناءً على تحليلنا للخوارزمية. في الواقع، هو أقرب إلى 1، مما قد يشير إلى أن إضـافة العناصـر إلى نهايـة القائمـةِ يستغرق زمنًا ثابتًا.

5.4 القوائم ازدواجية الترابط Doubly-linked list

الفكرة هي أن الصنف `MyLinkedList` الـذي نفَّذناه يَسـتخدِم قائمـة مترابطـة أحاديـة، أي أن كـل عنصـرٍ يحتوي على رابطٍ واحدٍ إلى العنصر التالي، في حين يحتوي الكائن `MyArrayList` نفسـه على رابـط إلى العقـدة الأولى.

في المقابل، إذا اطلعت على توثيق الصنف LinkedList باللغة الإنجليزية الذي تُـوفِّره جافـا، فإننـا نجـد مـا يلي:

> تنفيذ قائمة ازدواجية الترابط للواجهتين List وDeque. تَعمَل جميع العمليات بالشكل المُتوقَّع من قائمةٍ ازدواجية الترابط، أي تؤدي عمليات استرجاع فهرس معين إلى اجتياز أو التنقل في عناصر القائمة من البداية أو من النهاية بناءً على أيهما أقرب لذلك الفهرس.

يمكنك -إذا أردت- معرفة المزيد عن القوائم ازدواجية الترابط، وفيما يلي نذكر الفكرة العامّة عنها، إذ فيها:

- تحتوي كل عقدةٍ على رابطٍ إلى العقدة التالية ورابطٍ إلى العقدة السابقة.
- تحتوي كائنات الصنف `LinkedList` على روابط إلى العنصر الأول والعنصر الأخير في القائمة.

بناءً على ما سبق، يُمكِننا أن نبدأ من أي طرف، وأن نجتاز القائمة بأي اتجاه، وعليه تتطلَّب إضافة العناصر وحذفها من بداية القائمة أو نهايتها زمنًا ثابتًا.

يُلخِّص الجدول التالي الأداء المُتوقَّع من الصنف `ArrayList` والصنف المُخصَّص `MyLinkedList` الذي تحتوي عقده على رابط واحد والصنف `LinkedList` الذي تحتوي عقده على رابطين:

	MyArrayList	MyLinkedList	LinkedList
`add` (بالنهاية)	1	n	1
`add` (بالبداية)	n	1	1
`add` (في العموم)	n	n	n
`get` / `set`	1	n	n
`indexOf` / `lastIndexOf`	n	n	n
`isEmpty` / `size`	1	1	1
`remove` (من النهاية)	1	n	1
`remove` (من البداية)	n	1	1
`remove` (في العموم)	n	n	n

5.5 اختيار هيكل البيانات الأنسب

يُعدّ التنفيذ مزدوج الروابط أفضل من التنفيذ `ArrayList` فيما يتعلَّق بعمليتي الإضافة والحذف من بداية القائمة، ويتمتعان بنفس الكفاءة فيما يتعلَّق بعمليتي الإضافة والحذف من نهاية القائمة، وبالتالي تقتصر أفضلية الصنف `ArrayList` عليه بعمليتي `get` و`set`، لأنهما تتطلبان زمنًا خطيًا في القوائم المترابطة حتى لو كانت مزدوجة.

إذا كان زمن تشغيل التطبيق الخاص بك يعتمد على الزمن الذي تتطلَّبه عمليتا `get` و`set`، فقد يكون التنفيذ `ArrayList` هو الخيار الأفضل؛ أما إذا كان يَعتمِد على عملية إضافة العناصر وحذفها إلى بداية القائمة ونهايتها، فلربما التنفيذ `LinkedList` هو الخيار الأفضل.

ولكن تذكّر أن هذه التوصياتِ مبنيّةٌ على ترتيب النمو order of growth للأحجام الكبيرة من المشكلات. هنالك عوامل أخرى ينبغي أن تأخذها في الحسبان أيضًا:

- لو لم تكن تلك العمليات تستغرِق جزءًا كبيرًا من زمن تشغيل التطبيق الخاص بك -أي لو كـان التطـبيق يقضِي غالبية زمن تشغيله في تنفيذ أشياء أخرى-، فإن اختيارك لتنفيـذ الواجهـة `List` غـير مهم لتلـك الدرجة.
- إذا لم تكن القوائم التي تُعالجها كبيرةً بدرجة كافية، فلربما لن تحصل على الأداء الذي تتوقَّعـه، فبالنسـبة للمشكلات الصغيرة، قد تكون الخوارزمية التربيعية أسر ع من الخوارزمية الخطية، وقد تكون الخوارزميــة الخطية أسر ع من الخوارزمية ذات الزمن الثابت، كما أن الاختلاف بينها في العموم لا يُهمّ كثيرًا.
- لا تنسى عامل المساحة. ركزَّنا حتى الآن على زمن التشغيل، ولكن عامل المساحة مهم أيضًـا، إذ تتطلَّب التنفيذات المختلفة مساحاتٍ مختلفةً من الذاكرة، وتُخزَّن العناصر في قائمةٍ من الصـنف `ArrayList` إلى جانب بعضها البعض ضـمن قطعـة واحـدة من الـذاكرة، وبالتـالي لا تُبـدَّد مسـاحة الـذاكرة، كمـا أن الحاسوب عادةً ما يكون أسر ع عندما يتعامل مـع أجـزاء متصـلة من الـذاكرة. في المقابـل، يتطلَّب كـل عنصر في القوائم المترابطة عقدةً مكوَّنةً من رابطٍ أو رابطين.

تحتل تلك الروابط حيزًا من الذاكرة - أحيانًا ما يكون أكبرَ من الحيزِ الذي تحتله البيانـات نفسـها-، كمـا تكـون تلك العقدُ مبعثرةً ضمن أجزاءٍ مختلفةٍ من الذاكرة، مما يَجعَل الحاسوب أقلّ كفاءةً في تعامله معها.

خلاصة القول هي أن تحليـل الخوارزميـات يُـوفِّر بعض الإرشـادات الـتي قـد تسـاعدك على اختيـار هياكـل البيانات الأنسب، ولكن بشروط:

1. زمن تشغيل التطبيق مهم.
2. زمن تشغيل التطبيق يعتمد على اختيارك لهيكل البيانات.
3. حجم المشكلة كبيرٌ بالقدر الكافي بحيث يتمكن ترتيب النمو من توقع هيكل البيانات الأنسب.

في الحقيقة، يُمكِنك أن تتمتع بحياةٍ مهنيّةٍ طويلةٍ أثنـاء عملـك كمهنـدس برمجيـات دون أن تتعـرَّض لهـذا الموقف على الإطلاق.

أكبر موقع توظيف عن بعد في العالم العربي

ابحث عن الوظيفة التي تحقق أهدافك وطموحاتك
المهنية في أكبر موقع توظيف عن بعد

تصفح الوظائف الآن

6. التنقل في الشجرة Tree Traversal

سنتناول في هذا الفصل مقدمةً سريعةً عن تطبيق محرك البحث الذي ننوي بناءه، حيث سنَصِف مكوِّناتـه ونشرح أُولاها، وهي عبارة عن زاحف ويب crawler يُحمِّل صـفحات موقـع ويكيبيـديا ويُحلِّلهـا. سـنتناول أيضًـا تنفيذًا تعاوديًـا recursive لأسـلوب البحث بـالعمق أولًا depth-first وكـذلك تنفيـذًا تكراريًـا للمُكـدِّس stack (الداخل آخرًا، يخرج أولًا LIFO) باستخدام Deque.

6.1 محركات البحث

تستقبل محركات البحث -مثل محرك جوجل وبينغ- مجموعةً من كلمـات البحث، وتعيـد قائمـةً بصـفحات الإنترنت المرتبطة بتلك الكلمات (سنناقش ما تعنيه كلمـة مرتبطـة لاحقًـا). يُمكِنـك قـراءة المزيـد عن محركـات البحث (باللغة الإنجليزية)، ولكننا سنشرح هنا كل ما قد تحتاج إليه.

يتكوّن أي محرك بحث من عدة مكوناتٍ أساسيةٍ نستعرضها فيما يلي:

- الزحف crawling: برنـامج بإمكانـه تحميـل صـفحة إنـترنت وتحليلهـا واسـتخراج النص وأي روابـط إلى صفحات أخرى.
- الفهرسة indexing: هيكل بيانات data structure بإمكانه البحث عن كلمةٍ والعثـور على الصـفحات التي تحتوي على تلك الكلمة.
- الاسترجاع retrieval: طريقة لتجميع نتائج المُفهرِس واختيار الصفحات الأكثر صلةً بكلمات البحث.

سنبدأ بالزاحف، والذي تتلخص مهمته في اكتشاف مجموعة من صفحات الويب وتحميلها، في حين تهدف محركات البحث مثل جوجل وبينغ إلى العثور على جميع صفحات الإنترنت، لكن المعتاد أيضًا أن يكـون الزاحـف مقتصرًا على نطاق أصغر. وفي حالتنا هذه، سنقتصر على صفحات موقع ويكيبيديا فقط.

في البداية، سنبني زاحفًا يقرأ صفحةً من موقع ويكيبيديا، ويبحث عن أول رابطٍ ضمن الصفحة، وينتقل إلى الصفحة التي يشير إليها الرابط، ثم يكرر الأمر. سنَستخدِم ذلك الزاحف لاختبار صحة فرضيّة فرضـيّة الطريـق إلى الفلسفة، الموجودة في صفحات ويكيبيديا والتي تنصّ على ما يلي:

> إذا نقرت على أول رابطٍ مكتوبٍ بأحرفٍ صغيرةٍ في أي مقالةٍ في موقع ويكيبيديا، وكرَّرت ذلك على المقالات التالية، فسينتهي بك المطاف إلى مقالة الفلسفة في موقع ويكيبيديا.

سيسمح لنا اختبار تلك الفرضيّة ببناء القطع الأساسية للزاحف بدون الحاجة إلى الزحف عبر الإنترنت بأكملـه أو حتى عبر كل صفحات موقع ويكيبيديا، كما أن هذا التمرين ممتعٌ نوعًا ما.

أمّا المُفهرس والمُسترجِع فسنبني كلًّا منهما في فصل مستقلّ لاحقًا.

6.2 تحليل مستند HTML

عندما تُحمِّل صفحة إنترنت، فإن محتوياتها تكون مكتوبةً بلغة ترمـيز النص الفـائق HyperText Markup Language، التي تُختصَر عادةً إلى HTML. على سبيل المثال، انظر إلى مستند HTML التالي:

```
<!DOCTYPE html>
<html>
  <head>
    <title>This is a title</title>
  </head>
  <body>
    <p>Hello world!</p>
  </body>
</html>
```

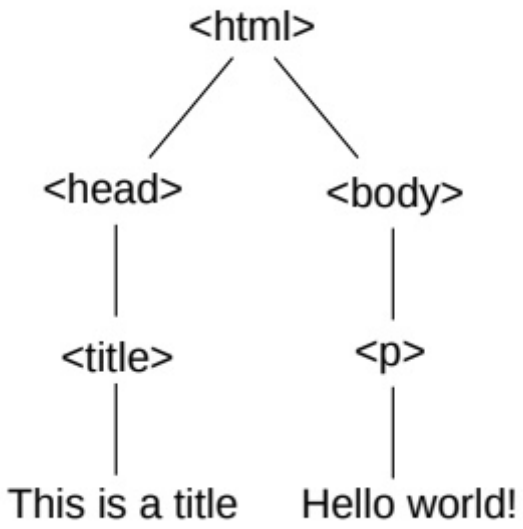
تُمثِّل العبارات "This is a title" و"Hello world!" النصَّ الفعليَّ المعروض في الصفحة، أما بقية العناصر فهي عبارة عن وسوم tags تشير إلى الكيفية التي ستُعرَض بها تلك النصوص.

بعد أن يُحمِّل الزاحف صفحة إنـترنت، يُحلِّل محتوياتهـا المكتوبـة بلغـة HTML ليتمكَّن من اسـتخراج النص وإيجاد الروابط. سنَستخدِم مكتبة jsoup مفتوحة المصدر من لغة جافا لإجراء ذلك، حيث تستطيع تلك المكتبــة تحميل صفحات HTML وتحليلها.

ينتج عن تحليل مستندات HTML شجرة نموذج كائن المستند Document Object Model التي تُختصرُ إلى DOM، حيث تحتوي تلك الشجرة على ما يتضمنه المسـتند من عناصـر بمـا في ذلـك النصـوص والوسـوم، تمثِّل هيكل بياناتٍ مترابطًا linked يتألف من عقد nodes تُمثِّلُ كلًا من النصوص والوسوم والعناصر الأخرى.

تُحدِّد بنية المستند العلاقات بين العقد. يُعدّ الوسم <html> -في المثـال المُوضَّـح في الأعلى مثلًا، العقـدة الأولى التي يُطلَق عليها اسم الجذر root، وتحتوي تلك العقدة على روابط تشـير إلى العقـد الـتي تتضـمنها وفي حالتنا هما العقدتان <head> و<body>، وتُعدّ كلٌّ منهما ابنًا للعقدة الجذر.

تملك العقدة <head> ابنًا واحدًا هـو العقـدة <title>، وبالمثـل، تملـك العقـدة <body> ابنًـا واحـدًا هـو العقدة <p> (اختصار لكلمة paragraph). تُوضِّح الصورة التالية تلك الشجرة بيانيًا.



تحتوي كلّ عقدة على روابط إلى عقد الأبنـاء، كمـا تحتـوي على رابـط إلى عقـدة الأب الخاصـة بهـا، وبالتـالي يُمكِننا أن نبدأ من أي عقدة في الشجرة، ثم نتنقّل إلى أعلاهـا أو أسـفلها. عـادةً مـا تكـون أشـجار DOM المُمثِلـة للصفحات الحقيقية أعقدَ بكثيرٍ من هذا المثال.

تُـوفِّر غالبيـة متصـفحات الإنـترنت أدوات للتحقّـق من نمـوذج DOM الخـاص بالصـفحة المعروضـة. ففي متصفح كروم مثلًا، يُمكِنك النقر بزر الفأرة الأيمن على أي مكان من الصفحة، واختيار "Inspect" من القائمة؛ أما في متصفح فايرفوكس، فيُمكِنك أيضًا النقر بزر الفأرة الأيمن على أي مكـان واختيـار "Inspect Element" من القائمة. يُمكِنك القراءة عن أداة Web Inspector التي يُوفِّرها متصفح سفاري أو كروم Chrome.

تعرض الصورة السابقة لقطة شاشة لنموذج DOM الخاص بمقالة ويكيبيديا عن لغة جافا، حيث يُمثِّلُ العنصر المظلل أول فقرة في النص الرئيسي من المقالة. لاحِظ أن الفقرة تقع داخل عنصر `<div>` الذي يملك السمة `"id="mw-content-text`، والتي سنَستخدِمها للعثور على النص الرئيسي في أي مقالةٍ نُحمِّلها.

6.3 استخدام مكتبة jsoup

تُسهِّل مكتبة jsoup من تحميل صفحات الإنترنت وتحليلها، وكذلك التنقُّل عبر شجرة DOM. انظر إلى المثال التالي:

```
    String url =
"http://en.wikipedia.org/wiki/Java_(programming_language)";

    // حمِّل المستند وحلِّله
    Connection conn = Jsoup.connect(url);
    Document doc = conn.get();

    // اختر المحتوى النصي واسترجع الفقرات
    Element content = doc.getElementById("mw-content-text");
    Elements paragraphs = content.select("p");
```

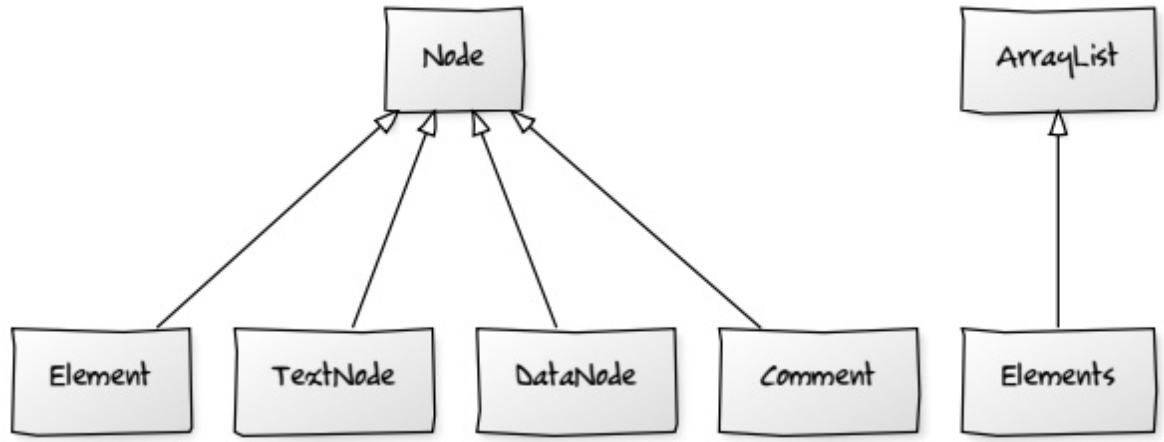
يَستقبِل التابع `Jsoup.connect` مُحدِّد موارد موحدًا URL من النوع `String`، ويُنشِئ اتصالًا مع خادم الويب. بعد ذلك يُحمِّل التابع `get` مستند HTML ويُحلِّله، ويعيد كائنًا من النوع `Document` يُمثِل شجرة DOM.

يُوفِّر الصنف `Document` توابعًا للتنقل عبر الشجرة واختيار العقد. في الواقع، إنه يُوفِّر توابع كثيرةً جدًا لدرجة تُصيبَك بالحيرة. وسيَعرِض المثال التالي طريقتين لاختيار العقد:

- `getElementById`: يستقبِل سلسلةً نصيةً من النوع `String`، ويبحث ضمن الشجرة عن عنصرٍ يملك نفس قيمة حقل id المُمرَّرة. يختار التابع في هذا المثال العقدة `<div id="mw-content-text" lang="en" dir="ltr" class="mw-content-ltr">` التي تَظهَر في أيّ مقالةٍ من موقع ويكيبيديا لكي تُميّز عنصر `<div>` المُتضمِّن للنص الرئيسي للصفحة، عن شريط التنقل الجانبي والعناصر الأخرى. يعيد التابع `getElementById` كائنًا من النوع `Element` يُمثِل عنصر `<div>` ذاك، ويحتوي على العناصر الموجودة داخله بهيئة أبناءٍ وأحفادٍ وغيرها.
- `select`: يستقبل سلسلةً نصيّةً من النوع `String`، ويتنقّل عبر الشجرة، ثم يُعيد جميع العناصر التي يتوافق الوسم tag الخاص بها مع تلك السلسلة النصية. يعيد التابع في هذا المثال جميع وسوم الفقرات الموجودة في الكائن `content`. تكون القيمة المعادة عبارة عن كائن من النوع `Elements`.

قبل أن تُكمِل القراءة، يُفضَّل أن تلقي نظرةً على توثيق كلٍّ من الأصناف المذكورة لكي تتعرف على إمكانيات كلٍّ منها. تجدر الإشارة إلى أنّ الأصناف `Element` و`Elements` و`Node` هي الأصناف الأهمّ.

يُمثِل الصنف `Node` عقدةً في شجرة DOM. وتمتد منه أصنافٌ فرعيةٌ subclasses كثيرةٌ مثل `Element` و`TextNode` و`DataNode` و`Comment`. يُعدّ الصنف `Elements` تجميعةً من النوع `Collection` التي تحتوي على كائناتٍ من النوع `Element`.



تحتوي الصورة السابقة على مخطط UML يُوضّح العلاقة بين تلك الأصناف. يشير الخط ذو الرأس الأجوف إلى أن هناك صنفًا يمتد من صنفٍ آخر، إذ يمتد الصنف `Elements` مثلًا، من الصنف `ArrayList`. وسنعود لاحقًا للحديث عن مخططات UML.

6.4 التنقل في شجرة DOM

يَسمَح لك الصنف `WikiNodeIterable` -الذي كتبه المؤلف- بالمرور عبر عقد شجرة DOM. انظر إلى المثال التالي الذي يبين طريقة استخدامه:

```
        Elements paragraphs = content.select("p");
        Element firstPara = paragraphs.get(0);

        Iterable<Node> iter = new WikiNodeIterable(firstPara);
        for (Node node: iter) {
            if (node instanceof TextNode) {
                System.out.print(node);
            }
        }
```

يُكمِل هذا المثال ما وصلنا إليه في المثال السابق، فهو يختار الفقرة الأولى في الكائن `paragraphs` أولًا، ثم يُنشِئ كائنًا من النوع `WikiNodeIterable` ليُنفِّذ الواجهة `Iterable<Node>`. يُجري `WikiNodeIterable` بحثًا بتقنية العمق أولًا depth-first، ويُولِّد العقد بنفس ترتيب ظهورها بالصفحة.

تَطبَع الشيفرةُ العقدَ إذا كانت من النوع `TextNode` وتتجاهلها إذا كانت من أي نوع آخر، والتي تُمثِل وسومًا من الصنف `Element` في هذا المثال. ينتج عن ذلك طباعة نص الفقرة بدون أيّ ترميزات. وقد كان الخرج في هذا المثال كما يلي:

```
Java is a general-purpose computer programming language that is
concurrent, class-based, object-oriented,[13] and specifically
designed …
```

6.5 البحث بالعمق أولا Depth-first search

تتوفَّر العديد من الطرائق للتنقل في الأشجار، ويتلاءم كلٌّ منها مع أنواعٍ مختلفةٍ من التطبيقات. سنبدأ بطريقة البحث بالعمق أولًا DFS. تبدأ تلك الطريقة من جذر الشجرة، ثم تختار الابن الأول للجذر. إذا كان لديه أبناء، فإنها ستختار الابن الأول، وتستمر في ذلك حتى تصل إلى عقدةٍ ليس لها أبناء، أين تبدأ بالتراجع عندها والتحرك لأعلى إلى عقدة الأب، لتختار منها الابن التالي إن كان موجودًا، وفي حالة عدم وجوده، فإنها تتراجع للوراء مجددًا. عندما تنتهي من البحث في الابن الأخير لعقدة الجذر، فإنها تكون قد انتهت.

هناك طريقتان شائعتان لتنفيذ DFS: إما بالتعاود recursion، أو بالتكرار. يُعدّ التنفيذ بالتعاود هو الطريقة الأبسط:

```
private static void recursiveDFS(Node node) {
    if (node instanceof TextNode) {
        System.out.print(node);
    }
    for (Node child: node.childNodes()) {
        recursiveDFS(child);
    }
}
```

يُستدعَى التابع السابق من أجل كل عقدةٍ ضمن الشجرة بدايةً من الجذر. إذا كانت العقدة المُمرَّرة من النـوع `TextNode`، ويطبع التابع محتوياتِها، ثم يفحص إذا كان للعقدة أي أبنـاء. فـإذا كـان لهـا أبنـاء، فإنـه سيَسـتدعِي `recursiveDFS` -أي ذاته- لجميع عقد الأبناء على التوالي.

في هذا المثال، طَبَعَنا محتويات العقد التي تنتمي إلى النوع `TextNode` قبل أن ننتقل إلى الأبناء، وهو مـا يُعـدّ مثـالًا على التنقـل ذي الـترتيب السـابق. يُمكِنـك القـراءة عن التنقلات ذات الـترتيب السـابق pre-order والترتيب اللاحق post-order وفي الترتيب in-order. لا يُشكّل ترتيب التنقل في تطبيقنا هذا أي فارق.

نظرًا لأن التابع `recursiveDFS` يَستدعِي ذاته تعاوديًا، فقد كان بإمكانـه اسـتخدام مُكـدِّس الاسـتدعاءات للاحتفاظ بالعقد الأبناء، ومعالجتها بالترتيب المناسب، لكننا بدلًا من ذلـك يُمكِننـا أن نَسـتخدِم مُكدِّسًـا صـريحًا للاحتفاظ بالعقد، وفي تلك الحالة لن نحتاج إلى التعاود، حيث سنتمكَّن من التنقل في الشجرة عبر حلقة تكراريّة.

6.6 المكدسات Stacks في جافا

قبل أن نشرح التنفيذ التكـراري لتقنيـة DFS، سـنناقش أولًا هيكـل بيانـاتٍ يُعـرَف باسـم المُكـدّس. سـنبدأ بالفكرة العامة للمُكدِّس، ثم سنتحدث عن واجهتين interfaces بلغة جافا تُعرِّفان توابع المُكدِّس، وهمـا `Stack` و`Deque`.

يُعدّ المُكدِّس هيكل بياناتٍ مشابهًا للقائمة، فهو عبارة عن تجميعة تتذكر ترتيب العناصر. ويتمثل الفرق بين المكدّس والقائمة في أن المُكدِّس يوفِّر توابعَ أقل، وأنه عادةً ما يُوفِّر المُكدِّس التوابع التالية:

- `push`: يضيف عنصرًا إلى أعلى المُكدِّس.
- `pop`: يحذِف العنصر الموجود أعلى المُكدِّس ويعيده.
- `peek`: يعيد العنصر الموجود أعلى المُكدِّس دون حذفه.
- `isEmpty`: يشير إلى ما إذا كان المُكدِّس فارغًا.

نظرًا لأن التابع pop يسترجع العنصر الموجود في أعلى المكدّسِ دائمًا، يُشار إلى المكدّساتِ باستخدام كلمة "LIFO"، والتي تُعدّ اختصارًا لعبارة "الداخل آخرًا، يخرج أولًا". في المقابل، تُعدّ الأرتال queue بديلًا للمكدّساتِ، ولكنها تُعيد العناصر بنفس ترتيب إضافتها، ولذلك، يُشار إليها عادةً باستخدام كلمة "FIFO" أي "الداخل أولًا، يخرج أولًا".

قد لا تكون أهمية المُكدِّسات والأرتال واضحةً بالنسبة لك، فهما لا يوفران أي إمكانياتٍ إضافيةً عن تلك الموجودة في القوائم lists. بل يوفران إمكانيات أقل، لذلك قد تتساءل لم لا نكتفي باستخدام القوائم؟ والإجابة هي أن هناك سببان:

1. إذا ألزمت نفسك بعدد أقل من التوابع، أي بواجهة تطوير تطبيقات API أصغر، فعادةً ما تصبح الشيفرة مقروءةً أكثر، كما تقل احتمالية احتوائها على أخطاء. على سبيل المثال، إذا استخدمت قائمةً لتمثيل مُكدِّس، فقد تَحذِف -عن طريق الخطأ- عنصرًا بترتيب خاطئ. في المقابل، إذا استخدمت واجهة تطوير التطبيقات المُخصَّصة للمُكدِّس، فسيستحيل أن تقع في مثل هذا الخطأ، ولهذا فالطريقة الأفضل لتجنُّب الأخطاء هي بأن تجعلها مستحيلة.
2. إذا كانت واجهة تطوير التطبيقات التي يُوفِّرها هيكل البيانات صغيرةً، فسيكون تنفيذها بكفاءةٍ أسهل. على سبيل المثال، يُمكِننا أن نَستخدِم قائمةً مترابطةً linked list أحادية الترابط لتنفيذ المُكدِّس بسهولة، وعندما نضع عنصرًا في المُكدِّس، فعلينا أن نضيفه إلى بداية القائمة؛ أما عندما نسحب عنصرًا منها، فعلينا أن نَحذفه من بدايتها. ونظرًا لأن عمليتي إضافة العناصر وحذفها من بداية القوائم المترابطة تستغرق زمنًا ثابتًا، فإننا نكون قد حصلنا على تنفيذٍ ذي كفاءةٍ عالية. في المقابل، يَصعُب تنفيذ واجهات التطوير الكبيرة بكفاءة.

لديك ثلاثة خيارات لتنفيذ مُكدِّسٍ بلغة جافا:

1. إستخدِم الصنف `ArrayList` أو الصنف `LinkedList`. إذا إستخدَمت الصنف `ArrayList`، تأكَّد من إجراء عمليتي الإضافة والحذف من نهاية القائمة لأنهما بذلك سيستغرِقان زمنًا ثابتًا، وانتبه من إضافة العناصر في مكانٍ خاطئٍ أو تحذفها بترتيبٍ خاطئ.
2. تُوفِّر جافا الصنف `Stack` الذي يحتوي على التوابع الأساسية للمُكدِّسات، ولكنه يُعدّ جزءًا قديمًا من لغة جافا، فهو غير متوافق مع إطار عمل جافا للتجميعات Java Collections Framework الذي أُضيفَ لاحقًا.
3. ربما الخيار الأفضل هو استخدام إحدى تنفيذات الواجهة `Deque` مثل الصنف `ArrayDeque`.

إن كلمة Deque هي اختصار للتسمية رتل ذو نهايتين double-ended queue، والتي يُفترَض أن تُلفَظ deck، ولكنها تُلفَظ أحيانًا deek. تُوفِّر واجهة `Deque` بلغة جافا التوابع `push` و`pop` و`peek` و`isEmpty`، لذلك يُمكِنك أن تَستخدِم كائنًا من النوع `Deque` كمُكدِّس، كما أنها تُوفِّر توابع أخرى ولكننا لن نَستخدِمها حاليًا.

6.7 التنفيذ التكراري لتقنية البحث بالعمق أولا

انظـر إلى التنفيـذ التكـراري لأسـلوب "البحث بـالعمق أولًا". يَسـتخدِم ذلـك التنفيـذ كائنًـا من النـوع `ArrayDeque` ليُمثِل مُكدِّسًا يحتوي على كائنات تنتمي إلى النوع `Node`:

```
    private static void iterativeDFS(Node root) {
        Deque<Node> stack = new ArrayDeque<Node>();
        stack.push(root);

        while (!stack.isEmpty()) {
            Node node = stack.pop();
            if (node instanceof TextNode) {
                System.out.print(node);
            }

            List<Node> nodes = new ArrayList<Node>(node.childNodes());
            Collections.reverse(nodes);

            for (Node child: nodes) {
                stack.push(child);
            }
        }
    }
```

يُمثِل المعامل `root` جذر الشجرة التي نريد أن نجتازها، حيث سنُنشِئ المُكدِّس ونضيف الجذر إليه.

تستمر الحلقـة loop بالعمـل إلى أن يُصـبِح المُكـدِّس فارغًـا. يَسـحَب كـل تكـرار ضـمن الحلقـة عقـدةً من المُكدِّس، فإذا كانت العقدة من النوع `TextNode`، فإنه يَطبَعُ محتوياتِها ثم يضيف أبناءها إلى المُكـدِّس. ينبغي أن نضيف الأبناء إلى المُكدِّس بترتيبٍ معاكسٍ لكي نتمكَّن من معالجتهـا بـالترتيب الصـحيح، ولـذلك سنَنَسـخ الأبناء أولًا إلى قائمة من النوع `ArrayList`، ثم نعكس ترتيب العناصـر فيهـا، وفي النهايـة سـنمرّ عـبر القائمـة المعكوسة.

من السهل كتابة التنفيذ التكراري لتقنيةِ البحث بالعمق أولًا باستخدام كائن من النوع `Iterator`، وسـترى ذلك في الفصل التالي.

في ملاحظة أخيرة عن الواجهة `Deque`، بالإضافة إلى الصنف `ArrayDeque`، تُوفِّر جافـا تنفيـذًا آخـرًا لتلـك الواجهة، هو الصنف `LinkedList` الذي يُنفِّذ الواجهتين `List` و`Deque`، وتعتمد الواجهـة الـتي تحصـل عليهـا

على الطريقة التي تَستخدِمه بها. على سبيل المثـال، إذا أسـندت كائنًـا من النـوع `LinkedList` إلى متغـيرٍ من النوع `Deque` كالتالي:

```
Deqeue<Node> deque = new LinkedList<Node>();
```

فسيكون في إمكانك استخدام التوابع المُعرَّفة بالواجهة `Deque`، لا توابـع الواجهـةِ `List`. وفي المقابـل، إذا أسندته إلى متغيرٍ من النوع `List`، كالتالي:

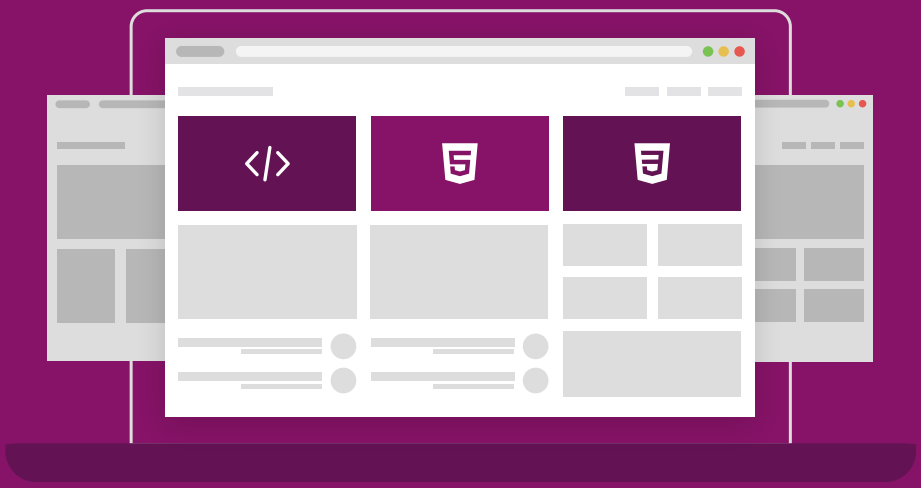
```
List<Node> deque = new LinkedList<Node>();
```

فسيكون في إمكانك استخدام التوابع المُعرَّفة بالواجهة `List` لا توابع الواجهة `Deque`؛ أمـا إذا أسـندته على النحو التالي:

```
LinkedList<Node> deque = new LinkedList<Node>();
```

فسيكون بإمكانك استخدام جميع التوابع، ولكن الذي يحدث عنـد دمج توابـع من واجهـاتٍ مختلفـةٍ، هـو أن الشيفرة ستصبح أصعب قراءةً وأكثر عرضةً لاحتواء الأخطاء.

دورة تطوير واجهات المستخدم



مميزات الدورة

- بناء معرض أعمال قوي بمشاريع حقيقية
- وصول مدى الحياة لمحتويات الدورة
- تحديثات مستمرة على الدورة مجانًا
- شهادة معتمدة من أكاديمية حسوب
- إرشادات من المدربين على مدار الساعة
- من الصفر دون الحاجة لخبرة مسبقة

اشترك الآن

7. كل الطرق تؤدي إلى روما

سنبني في هذا الفصل زاحفَ إنترنت crawler يختبر صحة فرضيّة "الطريق إلى مقالة الفلسـفة" Getting to Philosophy -التي تشبه المثل الشهير كل الطرق تؤدي إلى روما- في موقع ويكيبيديا التي شرحنا معناهـا في الفصل السابق.

7.1 البداية

ستجد في مستودع الكتاب ملفات الشيفرة التالية التي ستساعدك على بدء العمل:

1. `WikiNodeExample.java`: يحتوي على شيفرة التنفيـذ التعـاودي recursive والتكـراري iterative لتقنية البحث بالعمق أولًا depth-first search.
2. `WikiNodeIterable.java`: يحتوي على صـنف ممتـدٍّ من النـوع `Iterable` بإمكانـه المـرور عـبر شجرة DOM.
3. `WikiFetcher.java`: يحتوي على صنفٍ يُعرِّف أداةً تَستخدِم مكتبة jsoup لتحميـل الصـفحات من موقع ويكيبيديا. ويضع الصنف حدًّا لسرعة تحميل الصفحات امتثالًا لشروط الخدمـة في الموقـع، فـإذا طلبت أكثر من صفحة في الثانية الواحدة، فإنه ينتظر قليلًا قبل أن يُحمِّل الصفحة التالية.
4. `WikiPhilosophy.java`: يحتوي على تصـوّرٍ مبـدئيٍّ عن الشـيفرة الـتي ينبغي أن تكملهـا في هـذا التمرين، وسنناقشها في الأسفل.

ستجد أيضًا ملف البناء `build.xml`، حيث ستَعمَل الشيفرة المبدئية إذا نفَّذت الأمر التالي:

```
ant WikiPhilosophy
```

7.2 الواجهتان Iterables وIterators

تناولنا في الفصل السابق تنفيذًا تكراريًا لـه، وذكرنـا وجـه تفضـيله على التنفيـذ التعـاودي من جهـة سـهولة تضمينه في كائنٍ من النوع `Iterator`. سنناقش في هذا الفصل طريقة القيام بذلك.

يُمكِنك القراءة عن الواجهتين Iterator وIterable إذا لم تكن على معرفة بهما.

ألـــقِ نظـــرةً على محتويـــات الملـــف `WikiNodeIterable.java`. يُنفِّذ الصـــنف الخـــارجيُّ `WikiNodeIterable` الواجهة `Iterable<Node>`، ولذا يُمكِننا أن نَسـتخدِمه ضـمن حلقـة تكـرار loop على النحو التالي:

```
Node root = ...
Iterable<Node> iter = new WikiNodeIterable(root);
for (Node node: iter) {
    visit(node);
}
```

يشير `root` إلى جذر الشجرة التي ننوي اجتيازها أو التنقل فيها، بينما يُمثِل `visit` التابع الـذي نـرغب في تطبيقه عند مرورنا بعقدةٍ ما.

يَتبِع التنفيذ `WikiNodeIterable` المعادلة التقليدية:

1. يَستقبِل الباني constructor مرجعًا إلى عقدة الجذر.
2. يُنشِئ التابع `iterator` كائنًا من النوع `Iterator` ويعيده.

انظر إلى شيفرة الصنف:

```
public class WikiNodeIterable implements Iterable<Node> {

    private Node root;

    public WikiNodeIterable(Node root) {
        this.root = root;
    }

    @Override
    public Iterator<Node> iterator() {
        return new WikiNodeIterator(root);
```

```
    }
}
```

في المقابل، يُنجِز الصنف الداخلي `WikiNodeIterator` العمل الفعلي:

```
    private class WikiNodeIterator implements Iterator<Node> {

        Deque<Node> stack;

        public WikiNodeIterator(Node node) {
            stack = new ArrayDeque<Node>();
            stack.push(root);
        }

        @Override
        public boolean hasNext() {
            return !stack.isEmpty();
        }

        @Override
        public Node next() {
            if (stack.isEmpty()) {
                throw new NoSuchElementException();
            }

            Node node = stack.pop();
            List<Node> nodes = new ArrayList<Node>(node.childNodes());
            Collections.reverse(nodes);
            for (Node child: nodes) {
                stack.push(child);
            }
            return node;
        }
    }
```

تتطابق الشيفرة السابقة مع التنفيذ التكراري لأسلوب "البحث بالعمق أولًا" إلى حـد كبـير، ولكنّهـا مُقسَّـمة الآن على ثلاثة توابع:

1. يُهيئ الباني المكدس stack (المُنفَّذ باستخدام كائن من النوع `ArrayDeque`)، ويُضيف إليه عقدة الجذر.
2. `isEmpty`: يفحص ما إذا كان المكدس فارغًا.
3. `next`: يَسحَب العقدة التالية من المكدّس، ويضيف أبناءها بترتيبٍ معاكسٍ إلى المكدّس، ثم يعيد العقدة التي سحبها. وفي حال استدعاء التابع `next` في كائن `Iterator` فارغٍ، فإنه يُبلِّغ عن اعتراض exception.

ربما تعتقد أن إعادة كتابة تابع جيد فعليًا باستخدام صنفين، وأن خمسة توابع تُعَد فكرةً غير جديرة بالاهتمام. ولكننا وقد فعلنا ذلك الآن، أصبح بإمكاننا أن نَستخدِم الصنف `WikiNodeIterable` في أي مكانٍ يُمكِننا فيه استخدام النوع `Iterable`. يُسهِّل ذلك من الفصل بين منطق التنفيذ التكراري (البحث بالعمق أولًا) وبين المعالجة التي نريد إجراءها على العقد.

7.3 الصنف WikiFetcher

يستطيع زاحف الويب أن يُحمِّل صفحاتٍ كثيرةً بسرعةٍ فائقةٍ، مما قد يؤدي إلى انتهاك شروط الخدمة للخادم الذي يُحمِّل منه تلك الصفحات. ولكي نتجنَّب ذلك، وفَّرنا الصنف `WikiFetcher` الذي يقوم بما يلي:

1. يُغلِّف الشيفرة التي تناولناها في الفصل السابق، أي تلك التي تُحمِّل الصفحات من موقع ويكيبيديا، وتُحلِّل HTML، وتختار المحتوى النصي.
2. يقيس الزمن المُنقضِي بين طلبات الاتصال، فإذا لم يَكن كافيًا، فإنه ينتظر حتى تمرّ فترةٌ معقولة. وقد ضبطنا تلك الفترة لتكون ثانيةً واحدةً بشكلٍ افتراضيّ.

انظر فيما يلي إلى تعريف الصنف `WikiFetcher`:

```
public class WikiFetcher {
    private long lastRequestTime = -1;
    private long minInterval = 1000;

    /**
     * حمِّل صفحة محدد موارد موحد وحللها
     * أعد قائمة تحتوي على عناصر تُمثِل الفقرات
     *
     * @param url
     * @return
     * @throws IOException
```

```
     */
    public Elements fetchWikipedia(String url) throws IOException {
        sleepIfNeeded();

        Connection conn = Jsoup.connect(url);
        Document doc = conn.get();
        Element content = doc.getElementById("mw-content-text");
        Elements paragraphs = content.select("p");
        return paragraphs;
    }

    private void sleepIfNeeded() {
        if (lastRequestTime != -1) {
            long currentTime = System.currentTimeMillis();
            long nextRequestTime = lastRequestTime + minInterval;
            if (currentTime < nextRequestTime) {
                try {
                    Thread.sleep(nextRequestTime - currentTime);
                } catch (InterruptedException e) {
                    System.err.println(
                        "Warning: sleep interrupted in
fetchWikipedia.");
                }
            }
        }
        lastRequestTime = System.currentTimeMillis();
    }
}
```

يُعدّ `fetchWikipedia` هو التابع الوحيد المُعرَّف باستخدام المُعدِّل public ضمن ذلك الصنف. يَستقبِل هذا التابع سلسلةً نصيّةً من النوع `String` وتُمثِل مُحـدّد مـوارد موحّـدًا URL، ويعيـد تجميعـةً من النـوع الـتي `Elements` تحتوي على عنصر DOM لكل فقرةٍ ضمن المحتوى النصيّ. يُفترَض أن تكون تلك الشـيفرة مألوفـةً بالنسبة لك.

تقع الشيفرة الجديدة ضمن التابع `sleepIfNeeded` الذي يفحص الزمنَ المنقضيَ منذ آخر طلبٍ، وينتظـر إذا كان الزمن أقلّ من القيمة الدنيا `minInterval` والمقدّرة بوحدة الميلي ثانية.

هذا هو كل ما يفعله الصنف `WikiFetcher`. وتُوضِّح الشيفرة التالية طريقة استخدامه:

```
        WikiFetcher wf = new WikiFetcher();

        for (String url: urlList) {
            Elements paragraphs = wf.fetchWikipedia(url);
            processParagraphs(paragraphs);
        }
```

افترضنا في هذا المثال أن `urlList` عبارة عن تجميعة تحتوي على سلاسلَ نصيّة من النوع `String` وأن التابع `processParagraphs` يُعالِج بطريقةٍ ما كائن الصنف `Elements` الذي أعاده التابع `fetchWikipedia`.

يُوضِّح هذا المثال شيئًا مهمًا، حيث ينبغي أن تُنشِئ كائنًا واحدًا فقط من النوع `WikiFetcher` وأن تَستخدِمه لمعالجة جميع الطلبات؛ فلو كانت لديك عدة نسخ instances من الصنف `WikiFetcher`، فإنها لن تتمكَّن من فرض الزمن الأدنى اللازم بين كل طلب والطلب الذي يليه.

> تنفيذنا للصنف `WikiFetcher` بسيطٌ للغاية، ولكن من السهل إساءة استخدامه بإنشاء عدة نسخٍ منه. يُمكِنك أن تتجنب تلك المشكلة بجعل الصنف `WikiFetcher` يتبع نمط التصميم المفردة singleton.

7.4 تمرين 5

ستجد في الملف `WikiPhilosophy.java` تابع `main` بسيطًا يُوضِّح طريقة استخدام أجزاءٍ من تلك الشيفرة. وبدءًا منه، ستكون وظيفتك هي كتابةُ زاحفٍ يقوم بما يلي:

1. يَستقبِل مُحدّد موارد موحّدًا URL لصفحةٍ من موقع ويكيبيديا، ويُحمِّلها ويُحلِّلها.
2. يجتاز شجرة DOM الناتجة ويعثر على أول رابطٍ صالحٍ. وسنشرح المقصود بكلمة "صالح" في الأسفل.
3. إذا لم تحتوِ الصفحة على أية روابطَ أو كنا قد زرنا أوّل رابطٍ من قبل، فعندئذٍ ينبغي أن ينتهي البرنامج مشيرًا إلى فشله.
4. إذا كان مُحدّد الموارد الموحد يشير إلى مقالة ويكيبيديا عن الفلسفة، فينبغي أن ينتهي البرنامج مشيرًا إلى نجاحه.
5. وفيما عدا ذلك، يعود إلى الخطوة رقم 1.

ينبغي أن يُنشِئ البرنامج قائمةً من النوع `List` تحتوي على جميع مُحدّدات الموارد التي زارها، ويَعرِض النتائج عند انتهائه، سواءٌ أكانت النتيجة الفشل أم النجاح.

والآن، ما الذي نعنيه برابط "صالح"؟ في الحقيقة لـدينا بعض الخيـارات، إذ تَسـتخدِم النسـخ المختلفـة من نظرية "الوصول إلى مقالة ويكيبيديا عن الفلسفة" قواعدَ مختلفةً نَستعرِض بعضًا منها هنا:

1. ينبغي أن يكـون الرابـط ضـمن المحتـوى النصـي للصـفحة وليس في شـريط التنقـل الجـانبي أو خـارجَ الصندوق.
2. لا ينبغي أن يكون الرابطُ مكتوبًا بخطٍّ مائلٍ أو بين أقواس.
3. ينبغي أن تتجاهل الروابط الخارجيّة والروابط التي تشير إلى الصفحة الحالية والروابط الحمراء.
4. ينبغي أن تتجاهل الرابط إذا كان بادئًا بحرفٍ كبير.

ليس من الضروري أن تتقيد بكل تلك القواعد، ولكن يُمكِنك على الأقل معالجة الأقـواس والخطـوط المائلـة والروابط التي تشير إلى الصفحة الحالية.

إذا كنت تظن أن لديك المعلومـات الكافيـة لتبـدأ، فابـدأ الآن، ولكن لا بـأس قبـل ذلـك بقـراءة التلميحـات التالية:

1. ستحتاج إلى معالجة نوعين من العقد بينما تجتاز الشـجرة، همـا الصـنفان `TextNode` و`Element`. إذا قابلت كائنًا من النوع `Element`، فلربما قد تضطّر إلى تحويل نوعه typecast لكي تتمكَّن من استرجاع الوسم وغيره من المعلومات.
2. عندما تقابل كائنًا من النوع `Element` يحتوي على رابط، فعندها يُمكِنك اختبار ما إذا كان مكتوبًـا بخـطٍ مائلٍ باتباع روابط عقد الأب أعلى الشجرة، فإذا وجدت بينها الوسم `<i>` أو الوسم `<em>`، فهذا يَعـني أن الرابط مكتوبٌ بخطٍّ مائل.
3. لكي تفحص ما إذا كان الرابط مكتوبًا بين أقواس، ستضـطّر إلى فحص النص أثنـاء التنقـل في الشـجرة لكي تتعقب أقـواس الفتح والغلـق (سـيكون مثاليًـا لـو اسـتطاع الحـل الخـاص بـك معالجـة الأقـواس المتداخلة (مثل تلك)).
4. إذا بدأت من مقالة ويكيبيديا عن جافا، فينبغي أن تصل إلى مقالـة الفلسـفة بعـد اتبـاع 7 روابـط لـو لم يحدث تغيير في صفحات ويكيبيديا منذ لحظة بدئنا بتشغيل الشيفرة.

الآن وقد حصلت على كل المساعدة الممكنة، يُمكِنك أن تبدأ في العمل.

دورة تطوير تطبيقات الويب
باستخدام لغة Ruby

دورة تدريبية متكاملة من الصفر وحتى الاحتراف
تمكنك من التخصص في هندسة الويب ودخول سوق العمل

التحق بالدورة الآن

8. المفهرس Indexer

انتهينا من بناء زاحف الإنترنت crawler في الفصل السابع السابق، وسننتقل الآن إلى الجزء التالي من تطبيق محرك البحث، وهو الفهرس. يُعدّ الفهرس -في سياق البحث عبر الإنترنت- هيكل بياناتٍ data structure يُسهِّل من العثور على الصفحات التي تحتوي على كلمة معينة، كما يساعدنا على معرفة عدد مرات ظهور الكلمة في كل صفحة، مما يُمكِّننا من تحديد الصفحات الأكثر صلة.

على سبيل المثال، إذا أدخل المُستخدِم كلمتي البحث Java وprogramming، فإننا نبحث عن كلتيهما ونسترجع عدة صفحاتٍ لكل كلمة. ستتضمَّن الصفحات الناتجة عن البحث عن كلمة Java مقالاتٍ عن جزيرة Java، وعن الاسم المستعار للقهوة، وعن لغة البرمجة جافا. في المقابل، ستتضمَّن الصفحات الناتجة عن البحث عن كلمة programming مقالاتٍ عن لغات البرمجة المختلفة، وعن استخداماتٍ أخرى للكلمة.

باختيارنا لكلمات بحث تبحث عن الصفحات التي تحتوي على الكلمتين، سنتطلّع لاستبعاد المقالات التي ليس لها علاقة بكلمات البحث، وفي التركيز على الصفحات التي تتحدث عن البرمجة بلغة جافا.

والآن وقد فهمنا ما يعنيه الفهرس والعمليات التي يُنفذّها، يُمكِننا أن نُصمم هيكل بياناتٍ يُمثِّله.

8.1 اختيار هيكل البيانات

تتلخص العملية الرئيسية للفهرس في إجراء البحث، فنحن نحتاج إلى إمكانية البحث عن كلمةٍ معيّنةٍ والعثور على جميع الصفحات التي تتضمَّنها. ربما يكون استخدام تجميعة من الصفحات هو الأسلوب الأبسط لتحقيق ذلك، فبتوفّر كلمة بحث معينة، يُمكِننا المرور عبر محتويات الصفحات، وأن نختار من بينها تلك التي تحتوي على كلمة البحث، ولكن زمن التشغيل في تلك الطريقة سيتناسب مع عدد الكلمات الموجودة في جميع الصفحات، مما يَعنِي أن العملية ستكون بطيئةً للغاية.

والطريقة البديلة عن تجميعة الصفحات collection هي :الخريطة map، والتي هي عبارة عن هيكل بيانـات يتكون من مجموعة من أزواج، حيث يتألف كل منها من مفتاح وقيمة key-value.

تُوفِّر الخريطة طريقةً سريعةً للبحث عن مفتـاح معين والعثـور على قيمتـه المقابلـة. سنُنشِـئ مثلًا الخريطـة `TermCounter`، بحيث تربُط كل كلمة بحث بعدد مرات ظهور تلك الكلمة في كـل صـفحة، وسـتُمثِل المفـاتيح كلمات البحث، بينما ستُمثِل القيم عدد مرات الظهور (أو تكرار الظهور).

تُوفِّر جافـا الواجهـة `Map` الـتي تُخصِّـص التوابـع methods المُفـترَض توافرهـا في أيّ خريطـة، ومن أهمها ما يلي:

- `get(key)`: يبحث هذا التابع عن مفتاح معين ويعيد قيمته المقابلة.
- `put(key, value)`: يضيف هذا التابع زوجًا جديدًا من أزواج مفتاح/قيمة إلى خريطة من النوع `Map`، أو يستبدل القيمة المرتبطة بالمفتاح في حالة وجوده بالفعل.

تُوفِّر جافا عدة تنفيذاتٍ للواجهة `Map`، ومن بينها التنفيـذان `HashMap` و`TreeMap` اللـذان سنناقشـهما في فصول قادمة ونُحلّل أداء كُلٍّ منهما.

بالإضافة إلى الخريطة `TermCounter` التي تربط كلمات البحث بعدد مرات ظهورها، سنُعرِّف أيضًا الصنف `Index` الذي يربط كل كلمة بحث بتجميعة الصفحات التي تَظهرَ فيها الكلمة. يقودنـا ذلـك إلى السـؤال التـالي: كيف نُمثِل تجميعة الصفحات؟ سنتوصل إلى الإجابة المناسبة إذا فكرنا في العمليـات الـتي ننـوي تنفيـذها على تلك التجميعة.

سنحتاج في هذا المثال إلى دمج مجموعتين أو أكثر، وإلى العثور على الصفحات التي تظهـر الكلمـات فيهـا جميعًا. ويُمكِن النظر إلى ذلك وكأنـه عمليـة تقـاطع مجموعـتين sets. يتمثَـل تقـاطع أي مجموعـتين بمجموعـة العناصر الموجودة في كلتيهما.

تُخصِّص الواجهة `Set` بلغة جافا العملياتِ التي يُفترَض لأي مجموعة أن تكون قادرةً على تنفيذها، ولكنهـا لا تُوفِّر عملية تقاطعِ مجموعتين، وإن كانت تُوفِّر توابـعَ يُمكِن باسـتخدامها تنفيـذ عمليـة التقـاطع وغيرهـا بكفـاءة. وفيما يلي التوابع الأساسية للواجهة `Set`:

- `add(element)`: يضـيف هـذا التـابع عنصـرًا إلى مجموعـة. وإذا كـان العنصـر موجـودًا فعليًـا ضـمن المجموعة، فإنه لا يفعل شيئًا.
- `contains(element)`: يَفحَص هذا التابع ما إذا كان العنصر المُمرَّر موجودًا في المجموعة.

تُوفِّر جافا عدة تنفيذات للواجهة `Set`، ومن بينها الصنفان `HashSet` و`TreeSet`.

الآن وقـد صـممنا هياكـل البيانـات من أعلى لأسـفل، فإننـا سـنُنفِّذها من الـداخل إلى الخـارج بـدءًا من الصنف `TermCounter`.

8.2 الصنف TermCounter

يُمثِل الصنف `TermCounter` ربطًا بين كلمات البحث مـع عـدد مـرات حـدوثها في الصـفحات، وتَعـرِض الشيفرة التالية الجزء الأول من تعريف الصنف:

```
public class TermCounter {

    private Map<String, Integer> map;
    private String label;

    public TermCounter(String label) {
        this.label = label;
        this.map = new HashMap<String, Integer>();
    }
}
```

يربط متغير النسخة `map` الكلمات بعدد مرات حدوثها، بينما يُحدّد المتغـير `label` المسـتند الـذي يحتـوي على تلك الكلمات، وسنَستخدِمه لتخزين محددات الموارد الموحدة URLs.

يُعدّ الصنف `HashMap` أكثر تنفيذات الواجهة `Map` شيوعًا، وسنَستخدِمه لتنفيذ عملية الربط، كما سـنتناول طريقة عمله ونفهم سبب شيوع استخدامه في الفصول القادمة.

يُوفِّر الصنف `TermCounter` التابعين `put` و`get` المُعرَّفين على النحو التالي:

```
    public void put(String term, int count) {
        map.put(term, count);
    }

    public Integer get(String term) {
        Integer count = map.get(term);
        return count == null ? 0 : count;
    }
```

يَعمَل التابع `put` بمثابة تابع مُغلِّف، فعندما تستدعيه، سيَستدعِي بدوره التـابع `put` المُعـرَّف في الخريطـة المُخزَّنة داخله.

من الجهة الأخرى، يقوم التابع `get` بعمـل حقيقيّ، فعنـدما تَسـتدعِيه سيَسـتدعِي التـابع `get` المُعـرَّف في الخريطـــة، ثم يَفحَص النتيجـــة، فـــإذا لم تكن الكلمـــة موجـــودةً في الخريطـــة من قبـــل، فـــإن التـــابع `TermCounter.get` يعيد القيمة 0.

يُساعدنا تعريف التابع `get` بتلك الطريقة على تعريف التابع `incrementTermCount` بسهولة، ويَستقبِل ذلك التابع كلمةً ويزيد العدّاد الخاصّ بها بمقدار 1.

```
    public void incrementTermCount(String term) {
        put(term, get(term) + 1);
    }
```

إذا لم تكن الكلمة موجودةً ضمن الخريطة، فسيعيد `get` القيمة 0، ونزيد العداد بمقدار 1، ثم نَستخدِم التابع `put` لإضافة زوج مفتاح/قيمة key-value جديد إلى الخريطة. في المقابل، إذا كانت الكلمة موجودةً في الخريطة فعلًا، فإننا نسترجع قيمة العداد القديم، ونزيدها بمقدار 1، ثم نُخزِّنها بحيث تَستبدِل القيمة القديمة.

يُعرِّف الصنف `TermCounter` توابع أخرى للمساعدة على فهرسة صفحات الإنترنت:

```
    public void processElements(Elements paragraphs) {
        for (Node node: paragraphs) {
            processTree(node);
        }
    }

    public void processTree(Node root) {
        for (Node node: new WikiNodeIterable(root)) {
            if (node instanceof TextNode) {
                processText(((TextNode) node).text());
            }
        }
    }

    public void processText(String text) {
        String[] array = text.replaceAll("\\pP", " ").
                              toLowerCase().
                              split("\\s+");

        for (int i=0; i<array.length; i++) {
            String term = array[i];
            incrementTermCount(term);
        }
    }
```

- `processElements`: يَستقبِل هذا التابع كائنًا من النـوع `Elements` الـذي هـو تجميعـة من كائنـات `Element`. يمرّ التابع عبر التجميعة ويَستدعِي لكل كائنٍ منها التابع `processTree`.
- `processTree`: يَستقبِل عقدةً تُمثِّل عقدة جـذر شـجرة DOM، ويَمـرّ التـابع عـبر الشـجرة، ليعـثر على العقد التي تحتوي على نص، ثم يَستخرِج منها النص ويُمرِّره إلى التابع `processText`.
- `processText`: يَستقبِل سلسلةً نصـيةً من النـوع `String` تحتـوي على كلمـات وفراغـات وعلامـات ترقيم وغيرها. يَحذِف التابع علامات الترقيم باستبدالها بفراغـات، ويُحـوِّل الأحـرف المتبقيـة إلى حالتهـا الصـغرى، ثم يُقسِّـم النص إلى كلمـات. يَمـرّ التـابع عـبر تلـك الكلمـات، ويَسـتدعِي التـابع `incrementTermCount` لكُـلٍّ منهـا، ويَسـتقبِل التابعـان `replaceAll` و`split` تعبـيرات نمطيـة regular expression مثل معاملات.

وأخيرًا، انظر إلى المثال التالي الذي يُوضِّح طريقة استخدام الصنف `TermCounter`:

```
    String url =
"http://en.wikipedia.org/wiki/Java_(programming_language)";
    WikiFetcher wf = new WikiFetcher();
    Elements paragraphs = wf.fetchWikipedia(url);

    TermCounter counter = new TermCounter(url);
    counter.processElements(paragraphs);
    counter.printCounts();
```

يَستخدِم هذا المثال كائنًا من النوع `WikiFetcher` لتحميل صـفحةٍ من موقـع ويكيبيـديا، ثم يُحلّـل النص الرئيسيَّ الموجودَ بها، ويُنشِئ كائنًا من النوع `TermCounter` ويَستخدِمه لعدّ الكلمات الموجودة في الصفحة.

يُمكِنك تشغيل الشيفرة في القسم التالي، واختبار فهمك لها بإكمال متن التابع غير المكتمل.

8.3 تمرين 6

ستجد ملفات شيفرة التمرين في مستودع الكتاب:

- `TermCounter.java`: يحتوي على شيفرة القسم السابق.
- `TermCounterTest.java`: يحتوي على شيفرة اختبار الملف `TermCounter.java`.
- `Index.java`: يحتوي على تعريف الصنف الخاص بالجزء التالي من التمرين.
- `WikiFetcher.java`: يحتوي على الصنف الـذي اسـتخدمناه في التمـرين السـابق لتحميـل صـفحة إنترنت وتحليلها.

- `WikiNodeIterable.java`: يحتوي على الصنف الذي استخدمناه للتنقل في عقد شجرة DOM.

ستَجِد أيضًا ملف البناء `build.xml`.

نفِّذ الأمر `ant build` لتصريف ملفات الشيفرة، ثم نفِّذ الأمر `ant TermCounter` لكي تُشغِّل شيفرة القسم السابق. تَطبَع تلك الشيفرة قائمة بالكلمات وعدد مرات ظهورها، وينبغي أن تحصُل على خرجٍ مشابهٍ لما يلي:

```
genericservlet, 2
configurations, 1
claimed, 1
servletresponse, 2
occur, 2
Total of all counts = -1
```

قد تجد ترتيب ظهور الكلمات مختلفًا عندما تُشغِّل الشيفرة، وينبغي أن يَطبَع السطر الأخير المجموعَ الكلّيَّ لعدد مرات ظهور جميع الكلمات، ولكنه يعيد القيمة -1 في هذا المثال لأن التابع `size` غير مكتمل. أكمل متن هذا التابع، ثم نفِّذ الأمر `ant TermCounter` مرةً أخرى، حيث ينبغي أن تحصل على القيمة 4798.

نفِّذ الأمر `ant TermCounterTest` لكي تتأكَّد من أنك قد أكملت جزء التمرين ذاك بشكلٍ صحيح.

بالنسبة للجزء الثاني من التمرين، فسنُوفِّر تنفيذًا لكائنٍ من النوع `Index`، وسيكون عليك إكمال متن التابع غيرِ المكتمل. انظر إلى تعريف الصنف:

```
public class Index {

    private Map<String, Set<TermCounter>> index =
        new HashMap<String, Set<TermCounter>>();

    public void add(String term, TermCounter tc) {
        Set<TermCounter> set = get(term);

        // أنشئ مجموعةً جديدةً إذا كنت ترى الكلمة للمرة الأولى
        if (set == null) {
            set = new HashSet<TermCounter>();
            index.put(term, set);
        }
        // إذا كنت قد رأيت الكلمة من قبل، عدِّل المجموعة الموجودة
```

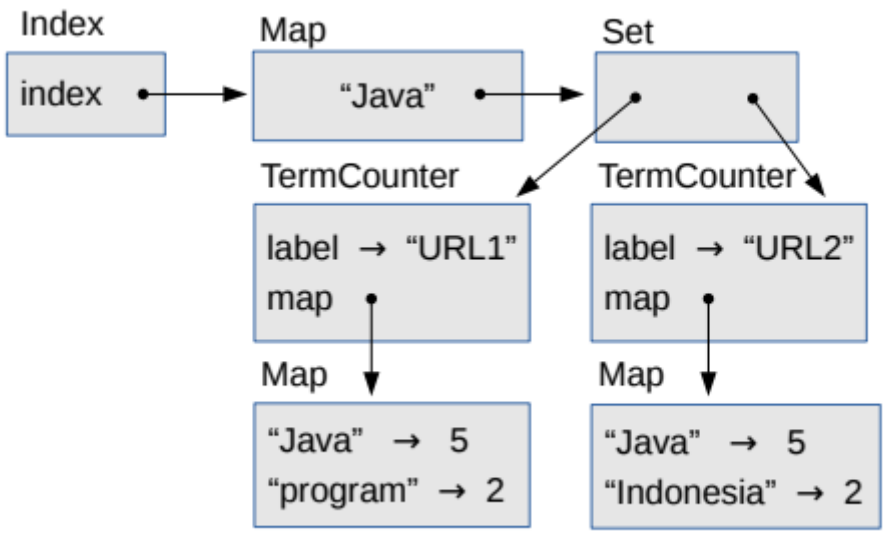
```
        set.add(tc);
    }

    public Set<TermCounter> get(String term) {
        return index.get(term);
    }
```

يُمثِل متغير النسخة `index` خريطةً map تربط كل كلمة بحثٍ بمجموعةِ كائناتٍ تنتمي إلى النوع `TermCounter`، ويُمثِّل كل كائنٍ منها صفحةً ظهرت فيها تلك الكلمة.

يضيف التابع `add` كائنًا جديدًا من النوع `TermCounter` إلى المجموعة الخاصة بكلمةٍ معينة. وعندما نُفهرس كلمةً لأول مرة، سيكون علينا أن نُنشِئ لها مجموعةً جديدة، أما إذا كنا قد قابلنا الكلمة من قبل، فسنضيف فقط عنصرًا جديدًا إلى مجموعة تلك الكلمة، أي يُعدِّل التابع `set.add` عندما تكون المجموعة موجودةً بالفعل داخل `index` ولا يُعدِّل `index` ذاته، حيث إننا سنضطر إلى تعديل `index` فقط عند إضافة كلمةٍ جديدة.

وأخيرًا، يستقبل التابع `get` كلمة بحثٍ، ويعيد مجموعة كائنات الصنف `TermCounter` المقابلة للكلمة.

يُعَدّ هيكل البيانات هذا مُعقدًا بعض الشيء. ولاختصاره، يمكن القول أن كائن النوع `Index` يحتوي على خريطةٍ من النوع `Map` تربط كل كلمة بحثٍ بمجموعةٍ من النوع `Set`، المكوَّنةٍ من كائناتٍ تنتمي إلى النوع `TermCounter`، حيث يُمثِل كلّ كائنٍ منها خريطةً تربط كلماتِ البحث بعدد مرات ظهور تلك الكلمات.



تَعرِض الصورة السابقة رسمًا توضيحيًّا لتلك الكائنات، حيث يحتوي كائن الصنف `Index` على متغير نسخة اسمه `index` يشير إلى كائن الصنف `Map`، الذي يحتوي -في هذا المثال- على سلسلةٍ نصيّةٍ واحدةٍ Java مرتبطةٍ

بمجموعةٍ من النوع `Set` تحتوي على كائنين من النوع `TermCounter`؛ بحيث يكون واحدًا لكل صفحة قد ظهرت فيها كلمة Java.

يتضمَّن كلّ كائنٍ من النوع `TermCounter` على متغيرَ النسخة `label` الذي يُمثِل مُحدّد الموارد الموحد URL الخاص بالصفحة، كما يتضمَّن المتغيرَ `map` الذي يحتوي على الكلمات الموجودة في الصفحة، وعدد مرات حدوث كلّ كلمةٍ منها.

يُوضِّح التابع `printIndex` طريقة قراءة هيكل البيانات ذاك:

```
    public void printIndex() {
        // مرّ عبر كلمات البحث
        for (String term: keySet()) {
            System.out.println(term);

            // لكل كلمة، اطبع الصفحات التي ظهرت فيها الكلمة وعدد مرات ظهورها
            Set<TermCounter> tcs = get(term);
            for (TermCounter tc: tcs) {
                Integer count = tc.get(term);
                System.out.println("    " + tc.getLabel() + " " +
count);
            }
        }
    }
```

تمرّ حلقة التكرار الخارجية عبر كلمات البحث، بينما تمرّ حلقة التكرار الداخلية عبر كائنات الصنف `TermCounter`.

نفِّذ الأمر `ant build` لكي تتأكَّد من تصريف ملفات الشيفرة، ثم نفِّذ الأمر `ant Index`. سيُحمِّل صفحتين من موقع ويكيبيديا ويُفهرسهما، ثم يَطبَع النتائج، ولكنك لن ترى أي خرجٍ عند تشغيله لأننا تركنا أحد التوابع فارغًا.

دورك الآن هو إكمال التابع `indexPage` الذي يَستقبِل مُحدّد موارد موحّدًا URL (عبارة عن سلسلةٍ نصيةٍ)، وكائنًا من النوع `Elements`، ويُحدِّث الفهرس. تُوضِّح التعليقات ما ينبغي أن تفعله:

```
public void indexPage(String url, Elements paragraphs) {
    // أنشئ كائنًا من النوع TermCounter وعدّ الكلمات بكل فقرة
    // لكل كلمة في كائن النوع TermCounter، أضفه إلى index
}
```

نفِّذ الأمر `ant Index` . وبعد الانتهاء، إذا كان كل شيء سليمًا، فستحصل على الخرج التالي:

```
...
configurations
    http://en.wikipedia.org/wiki/Programming_language 1
    http://en.wikipedia.org/wiki/Java_(programming_language) 1
claimed
    http://en.wikipedia.org/wiki/Java_(programming_language) 1
servletresponse
    http://en.wikipedia.org/wiki/Java_(programming_language) 2
occur
    http://en.wikipedia.org/wiki/Java_(programming_language) 2
```

ضع في الحسبان أنه عند إجرائك للبحث قد يختلف ترتيب ظهور كلمات البحث.

وأخيرًا، نفِّذ الأمر `ant TestIndex` لكي تتأكَّد من اكتمال هذا الجزء من التمرين على النحو المطلوب.

خمسات

لبيع وشراء الخدمات المصغرة

أكبر سوق عربي لبيع وشراء الخدمات المصغرة
اعرض خدماتك أو احصل على ما تريد بأسعار تبدأ من $5 فقط

تصفح الخدمات

9. الواجهة Map

سنتناول في التمارين التالية تنفيذاتٍ مختلفةً للواجهة Map، حيث يعتمدُ أحدها على الجدول hash table، والذي يُعدّ واحدًا من أفضل هياكل البيانات الموجودة، في حين يتشابه تنفيذٌ آخرُ مع الصنف TreeMap، ويُمكِّننا من المرور عبر العناصر بحسب ترتيبها، غير أنّه لا يتمتع بكفاءة الجداول.

ستكون لديك الفرصة لتنفيذ هياكل البيانات تلك وتحليل أدائها، وسنبدأ أولًا بتنفيذ بسيط للواجهة Map باستخدام قائمة من النوع List تتكوّن من أزواج مفاتيح/قيم key-value، ثم سننتقل إلى شرح الجداول.

9.1 تنفيذ الصنف MyLinearMap

سنُوفِّر كالمعتاد شيفرةً مبدئيةً، ومهمتك إكمال التوابع غير المكتملة. انظر إلى بداية تعريف الصنف MyLinearMap:

```
public class MyLinearMap<K, V> implements Map<K, V> {

    private List<Entry> entries = new ArrayList<Entry>();
```

يَستخدِم هذا الصنف معاملي نوع type parameters، حيث يشير المعامل الأول K إلى نوع المفاتيح، بينما يشير المعامل الثاني V إلى نوع القيم. ونظرًا لأن الصنف MyLinearMap يُنفِّذ الواجهة Map، فإن عليه أن يُوفِّر التوابع الموجودة في تلك الواجهة.

تحتوي كائنات النوع MyLinearMap على متغير نسخةٍ instance variable وحيدٍ entries، وهو عبارة عن قائمة من النوع ArrayList مكوّنة من كائنات تنتمي إلى النوع Entry، حيث يحتوي كل كائن من النوع Entry على زوج مفتاح-قيمة. انظر فيما يلي إلى تعريف الصنف:

```
    public class Entry implements Map.Entry<K, V> {
        private K key;
        private V value;

        public Entry(K key, V value) {
            this.key = key;
            this.value = value;
        }

        @Override
        public K getKey() {
            return key;
        }
        @Override
        public V getValue() {
            return value;
        }
    }
```

لا تتعدى كائنات الصنف `Entry` كونها أكثر من مجرد حاوٍ لزوج مفتاح/قيمة، ويقع تعريف ذلك الصنف ضمن الصنف `MyLinearList`، ويَستخدِم نفس معاملات النوع `K` و`V`.

هذا هو كل ما ينبغي أن تعرفه لحل التمرين، ولذا سننتقل إليه الآن.

9.2 تمرين 7

ستجد ملفات شيفرة التمرين في مستودع الكتاب:

- `MyLinearMap.java`: يحتوي هذا الصنف على الشيفرة المبدئية للجزء الأول من التمرين.
- `MyLinearMapTest.java`: يحتوي على اختبارات الواحدة unit tests للصنف `MyLinearMap`.

ستجد أيضًا ملف البناء `build.xml` في المستودع.

نفِّذ الأمر `ant build` لكي تُصرَّف ملفات الشيفرة، ثم نفِّذ الأمر `ant MyLinearMapTest`. ستجد أن بعض الاختبارات لم تنجح؛ والسبب هو أنه ما يزال عليك القيام ببعض العمل.

أكمل متن التابع المساعد `findEntry` أولًا. لا يُعدّ هذا التابع جزءًا من الواجهة `Map`، ولكن بمجرد أن تكمله بشكلٍ صحيح، ستتمكَّن من استخدامه ضمن توابعَ كثيرة. يبحث هذا التابع عن مفتاحٍ معينٍ ضمن المُدْخَلات،

ثم يعيد إما المُدْخَل الذي يحتوي على ذلك المفتاح، أو القيمة الفارغة `null` إذا لم يكن موجودًا، كما يوازن التـابع `equals` -الذي وفرناه لك- بين مفتاحين، ويعالج القيم الفارغة `null` بشكل مناسب.

نفِّذ الأمر `ant MyLinearMapTest` مـرةً أخـرى. حـتى لـو كنت قـد أكملت التـابع `findEntry` بشـكل صحيح، فلن تنجح الاختبارات لأن التابع `put` غير مكتملٍ بعد، لهذا أكمل التابع `put`. ينبغي أن تقرأ توثيق التـابع `Map.put` باللغة الإنجليزية أولًا لكي تَعرِف ما ينبغي أن تفعله. ويُمكِنـك البـدء بكتابـة نسـخةٍ بسـيطةٍ من التـابع `put`، تضيف دومًا مُدْخَلًا جديدًا ولا تُعدِّل المدخلاتِ الموجودة. سيساعدك ذلك على اختبار الحالة البسـيطة من التابع، أما إذا كانت لديك الثقة الكافية، فبإمكانك كتابة التابع كاملًا من البداية.

ينبغي أن ينجح الاختبار `containsKey` بعدما تنتهي من كتابة التابع `put`. اقرأ توثيـق التـابع `Map.get` ثم نفِّذه، وشغِّل الاختبارات مرةً أخرى. وأخيرًا، اقرأ توثيق التابع `Map.remove`، ثم نفِّذه.

بوصولك إلى هذه النقطة، يُفترَض أن تكون جميع الاختبارات قد نجحت.

9.3 تحليل الصنف MyLinearMap

سـنُقدِّم حلًا للتمـرين الـوارد في الأعلى، ثم سـنُحلِّل أداء التوابـع الأساسـية. انظـر إلى تعريـف التـابعين `findEntry` و`equals`:

```
private Entry findEntry(Object target) {
    for (Entry entry: entries) {
        if (equals(target, entry.getKey())) {
            return entry;
        }
    }
    return null;
}

private boolean equals(Object target, Object obj) {
    if (target == null) {
        return obj == null;
    }
    return target.equals(obj);
}
```

قد يعتمد زمن تشغيل التابع `equals` على حجم `target` والمفاتيح، ولكنه لا يعتمد في العمـوم على عـدد المُدْخَلات n، وعليه، يَستغرِق التابع `equals` زمنًا ثابتًا.

بالنسبة للتابع `findEntry`، ربما يحالفنا الحظ ونجد المفتاح الذي نبحث عنه في البدايـة، ولكن هـذا ليس مضمونًا، ففي العموم، يتناسب عدد المُدْخَلات التي سنبحث فيها مع n، وعليه، يَسـتغرِق التـابع `findEntry` زمنًا خطيًا.

تعتمد معظم التوابع الأساسية المُعرَّفة في الصنف `MyLinearMap` على التابع `findEntry`، بما في ذلك التوابع `put` و`get` و`remove`. انظر تعريف تلك التوابع:

```
public V put(K key, V value) {
    Entry entry = findEntry(key);
    if (entry == null) {
        entries.add(new Entry(key, value));
        return null;
    } else {
        V oldValue = entry.getValue();
        entry.setValue(value);
        return oldValue;
    }
}
public V get(Object key) {
    Entry entry = findEntry(key);
    if (entry == null) {
        return null;
    }
    return entry.getValue();
}
public V remove(Object key) {
    Entry entry = findEntry(key);
    if (entry == null) {
        return null;
    } else {
        V value = entry.getValue();
        entries.remove(entry);
        return value;
    }
}
```

بعدما يَستدعِي التابعُ `put` التابعَ `findEntry`، فإن كـل شـيءٍ آخـرَ ضـمنَه يسـتغرق زمنًـا ثابتًـا. لاحِـظ أن `entries` هي عبـارةٌ عن قائمـةٍ من النـوع `ArrayList`، وأن إضـافة عنصـر إلى نهايـة قائمـةٍ من ذلـك النـوع تستغرق زمنًا ثابتًا في المتوسط؛ فإذا كان المفتاح موجودًا بالفعل في الخريطة، فإننا لن نضطّر إلى إضافة مُدْخَلٍ جديدٍ، ولكننـا في المقابـل سنضـطّر لاسـتدعاء التـابعين `entry.getValue` و`entry.setValue`، وكلاهمـا يستغرق زمنًا ثابتًا. بناءً على ما سبق، يُعدّ التابع `put` خطيًا، ويَستغرِق التابع `get` زمنًا خطيًا لنفس السبب.

يُعدّ التابع `remove` أعقد نوعًا ما؛ فقد يضـطّر التـابع `entries.remove` إلى حـذف العنصـر من بدايـة أو وسط قائمةٍ من النوع `ArrayList`، وهو ما يستغرِق زمنًا خطيًا. والواقع أنّه ليس هناك مشـكلة في ذلـك، فمـا تزال محصلة عمليتين خطيتين عمليةً خطيّةً أيضًا.

نستخلص مما سبق أن جميع التوابع الأساسية ضمن ذلك الصنف خطية، ولهذا السبب أطلقنـا عليـه اسـم `MyLinearMap`.

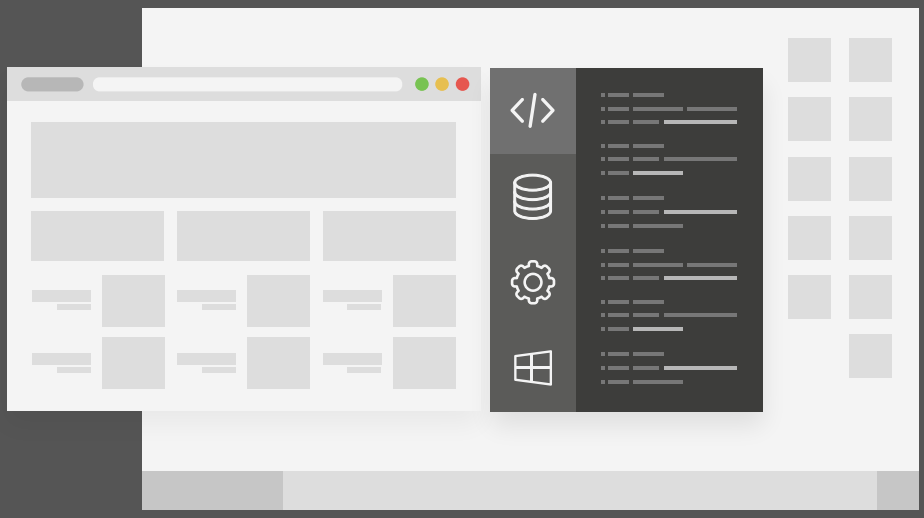
قد يكون هذا التنفيذ مناسبًا إذا كان عدد المُدْخَلات صغيرًا، ولكن ما يزال بإمكاننا أن نُحسِّـنه. في الحقيقـة، يُمكِننا أن نُنفِّذ جميع توابع الواجهة `Map`، بحيث تَستغرِق زمنًا ثابتًا. قد يبدو ذلك مسـتحيلًا عنـدما تسـمعه لأول مرة، فهو أشبه بأن نقول أن بإمكاننا العثور على إبرةٍ في كومة قشٍّ في زمنٍ ثـابتٍ، وذلـك بغض النظـر عن حجم كومة القش.

سنشرح كيف لذلك أن يكون ممكنًا في خطوتين:

1. بدلًا من أن نُخزِّن المُدْخَلات في قائمةٍ واحدةٍ كبيرةٍ من النوع `List`، سنقسِّمها على عدة قـوائمَ قصـيرةٍ، وسنَستخدِم شيفرة تعمية hash code - وسنشرح معناها في الفصل التالي- لكل مفتاح؛ وذلك لتحديد القائمة التي سنَستخدِمها.
2. يُعَد استخدام عدة قوائمَ قصيرةٍ أسر عَ من اِستخدَام قائمةٍ واحدةٍ كبـيرةٍ، ولكنـه مـع ذلـك لا يُغيِّر تـرتيب النمو order of growth -كما سنناقش لاحقًا-، فما تزال العمليات الأساسية خطيّةً، ولكن هنالك خدعة ستُمكِّننا من تجاوز ذلك، فإذا زِدنا عدد القـوائم بحيث نُقيّـد عـدد المُـدْخَلات الموجـودة في كـل قائمـة، فسنحصل على خريطةٍ ذات زمنٍ ثابتٍ. سنناقش تفاصيل ذلك في تمرين الفصل التالي، ولكن قبـل أن نفعل ذلك سنشرح ما تعنيه التعمية hashing.

سنتناول حل هذا التمرين ونُحلِّل أداء التوابع الأساسية للواجهة `Map` في الفصل التالي، وسنُقدِّم أيضًا تنفيذًا أكثر كفاءة.

دورة علوم الحاسوب



دورة تدريبية متكاملة تضعك على بوابة الاحتراف
في تعلم أساسيات البرمجة وعلوم الحاسوب

التحق بالدورة الآن

10. التعمية Hashing

سـنُعرِّف في هـذا الفصـل الصـنفَ MyBetterMap الـذي يُنفِّذ الواجهـة Map بشـكلٍ أفضـلَ من MyLinearMap، كما سـنتناول تقنيـة التعميـة hashing الـتي سـاعدتنا على تنفيـذ الصـنف MyBetterMap بتلك الكفاءة.

10.1 التعمية Hashing

بهـدف تحسـين أداء الصـنف MyLinearMap، سـنُعرِّف صـنفًا جديـدًا هـو MyBetterMap يحتـوي على تجميعة كائناتٍ تنتمي إلى الصنف MyLinearMap. يُقسِّم الصنف الجديد المفاتيح على الخرائـط المُرفقـة لكي يُقلِّل عدد المُدْخَلات الموجودة في كل واحدةٍ منها، وبذلك يتمكَّن من زيادة سـرعة التـابع findEntry والتوابـع التي تعتمد عليه.

انظر إلى تعريف الصنف:

```
public class MyBetterMap<K, V> implements Map<K, V> {

    protected List<MyLinearMap<K, V>> maps;

    public MyBetterMap(int k) {
        makeMaps(k);
    }

    protected void makeMaps(int k) {
        maps = new ArrayList<MyLinearMap<K, V>>(k);
```

```
            for (int i=0; i<k; i++) {
                maps.add(new MyLinearMap<K, V>());
            }
        }
    }
```

يُمثِل متغير النسخة `maps` تجميعة كائناتٍ تنتمي إلى الصنف `MyLinearMap`، حيث يَستقبِل الباني constructor المعاملَ `k` الذي يُحدِّد عدد الخرائط المُستخدَمة مبدئيًا على الأقل، ثم يُنشِئ التابع `makeMaps` تلك الخرائط ويُخزِّنها في قائمةٍ من النوع `ArrayList`.

والآن، سنحتاج إلى طريقة تُمكِّننا من فحص مفتاح معين، وتقرير الخريطة التي ينبغي أن نَستخدِمها. وعندما نَستدعِي التابع `put` مع مفتاح جديد، سنختار إحدى الخرائط؛ أما عندما نَستدعِي التابع `get` مع نفس المفتاح، فعلينا أن نتذكّر الخريطة التي وضعنا فيها المفتاح.

يُمكِننا إجراء ذلك باختيار إحدى الخرائط الفرعية عشوائيًا وتعقّب المكان الذي وضعنا فيه كل مفتاح، ولكن كيف سنفعل ذلك؟ يُمكِننا مثلًا أن نَستخدِم خريطةً من النوع `Map` للبحث عن المفتاح والعثور على الخريطة الفرعية المُستخدَمة، ولكن الهدف الأساسي من هذا التمرين هو كتابة تنفيذٍ ذي كفاءةٍ عاليةٍ للواجهة `Map`، وعليه، لا يُمكِننا أن نفترض وجود ذلك التنفيذ فعليًا.

بدلًا من ذلك، يُمكِننا أن نَستخدِم دالةً تعميةً hash function تَستقبِل كائنًا من النوع `Object`، وتعيد عددًا صحيحًا يُعرَف باسم شيفرة التعمية hash code. الأهم من ذلك هو أننا عندما نقابل نفس الكائن مرةً أخرى، فلا بُدّ أن تعيد الدالة نفس شيفرة التعمية دائمًا. بتلك الطريقة، إذا استخدمنا شيفرة التعمية لتخزين مفتاحٍ معينٍ، فإننا سنحصل على نفس شيفرة التعمية إذا أردنا استرجاعه.

يُوفِّر أيّ كائنٍ من النوع `Object` بلغة جافا تابعًا اسمه `hashCode`، حيث يَحسِب هذا التابع شيفرة التعمية الخاصة بالكائن. يختلف تنفيذ هذا التابع باختلاف نوع الكائن، وسنرى مثالًا على ذلك لاحقًا.

يختار التابعُ المساعدُ التالي الخريطةَ الفرعيّةَ المناسبة لمفتاحٍ معينٍ:

```
protected MyLinearMap<K, V> chooseMap(Object key) {
    int index = 0;
    if (key != null) {
        index = Math.abs(key.hashCode()) % maps.size();
    }
    return maps.get(index);
}
```

إذا كان `key` يساوي `null`، فإننا سنختار الخريطة الفرعية الموجودة في الفهرس 0 عشوائيًا. وفيما عدا ذلك، سنَستخدِم التابع `hashCode` لكي نحصل على عددٍ صحيحٍ، ثم نُطبِّق عليه التابع `Math.abs` لكي نتأكّد من أنه لا يحتوي على قيمة سالبة، ثم نَستخدِم عامل باقي القسمة `%` لكي نحصل على قيمةٍ واقعةٍ بين 0 و `maps.size()-1`، وبذلك نضمَن أن يكون `index` فهرسًا صالحًا للاستخدام مع التجميعة `maps` دائمًا. وفي الأخير، سيعيد `chooseMap` مرجِعًا reference إلى الخريطة المختارة.

لاحِظ أننا استدعينا `chooseMap` بالتابعين `put` و`get`، وبالتالي عندما نبحث عن مفتاحٍ معينٍ، يُفترَض أن نحصل على نفس الخريطة التي حصلنا عليها عندما أضفنا ذلك المفتاح. نقول هنا أنه يُفترَض وليس حتمًا، لأنه من المحتمل ألا يحدث، وهو ما سنشرح أسبابه لاحقًا.

انظر إلى تعريف التابعين `put` و `get`:

```
public V put(K key, V value) {
  MyLinearMap<K, V> map = chooseMap(key);
    return map.put(key, value);
}

public V get(Object key) {
    MyLinearMap<K, V> map = chooseMap(key);
    return map.get(key);
}
```

ربما لاحظت أن الشيفرة بسيطةٌ للغاية، حيث يَستدعِي التابعان التابعَ `chooseMap` للعثور على الخريطة الفرعية الصحيحة، ثم يَستدعِيان تابعًا في تلك الخريطة الفرعية، وهذا كلّ ما في الأمر. والآن، لنفحص أداء التابعين.

إذا كان لدينا عدد مقداره n من المُدْخَلات مُقسّمًا على عدد مقداره k من الخرائط الفرعية، فسيصبح لدينا في المتوسط عدد n/k من المُدْخَلات في كل خريطة. وعندما نبحث عن مفتاح معين، سنضطرّ إلى حساب شيفرة تعميته، والتي تستغرق بعض الوقت، ثم سنبحث في الخريطة الفرعية المقابلة.

لمّا كان حجم قوائم المُدْخَلات في الصنف `MyBetterMap` أقلّ بمقدار k مرة من حجمها في الصنف `MyLinearMap`، فمن المُتوقَّع أن يكون البحث أسرع بمقدار k مرة، ومع ذلك، ما يزال زمن التشغيل متناسبًا مع n، وبالتالي ما يزال الصنف `MyBetterMap` خطيًّا. سنعالج تلك المشكلة في التمرين التالي.

10.2 كيف تعمل التعمية؟

إذا طبَّقنا دالة تعميةٍ على نفس الكائن، فلا بُدّ لها أن تنتج نفس شيفرة التعمية في كل مرّةٍ، وهـو أمـرٌ سـهلٌ نوعًا ما إذا كان الكائن غيرَ قابلٍ للتعديل immutable؛ أما إذا كان قابلًا للتعديل، فالأمر يحتاج إلى بعض التفكير.

كمثال على الكائنات غـير القابلـة للتعـديل، سـنُعرِّف الصـنف `SillyString`، حيث يُغلِّف ذلـك الصـنف سلسلةً نصيّةً من النوع `String`:

```
public class SillyString {
    private final String innerString;

    public SillyString(String innerString) {
        this.innerString = innerString;
    }

    public String toString() {
        return innerString;
    }
```

في الواقع، هذا الصنف ليس ذا فائدةٍ كبيرةٍ، ولهذا السبب سميناه `SillyString`، ولكنه مع ذلك يُوضِّـح كيف يُمكِن لصنفٍ أن يُعرِّف دالة التعمية الخاصّة به:

```
    @Override
    public boolean equals(Object other) {
        return this.toString().equals(other.toString());
    }

    @Override
    public int hashCode() {
        int total = 0;
        for (int i=0; i<innerString.length(); i++) {
            total += innerString.charAt(i);
        }
        return total;
    }
```

أعاد الصنف `SillyString` تعريفَ التابعين `equals` و`hashCode`، وهذا الأمر ضروري لأننا لـو أردنـا لـه أن يَعمَل بشكل مناسب، فلا بُدّ أن يكون التابع `equals` متوافقًا مع التـابع `hashCode`. يَعنِي هـذا أنـه لـو كـان

لدينا كائنان متساويين -يُعيد التابع `equals` القيمة `true` عند تطبيقه عليهما-، فلا بُدّ أن تكون لهما نفس شيفرة التعمية، ولكن هذا صحيحٌ من اتجاهٍ واحدٍ فقط، فمن المحتمل أن يملك كائنان نفس شيفرة التعمية، ومع ذلك لا يكونان متساويين.

يَستدعِي `equals` التابعَ `toString` الذي يعيد قيمةَ متغير النسخة `innerString`، ولذلك يتساوى كائنان من النوع `SillyString` إذا تساوى متغير النسخة `innerString` المُعرَّف فيهما.

يمرّ التابع `hashCode` عبر محارف السلسلة النصية -من النوع `String`- ويَحسِب حاصل مجموعها. وعندما نضيف محرفًا إلى عددٍ صحيحٍ من النوع `int`، ستُحوَّل جافا المحرف إلى عددٍ صحيحٍ باستخدام رقم محرف يونيكود Unicode code point الخاصّ به. يُمكنكِ قراءة المزيد عن أرقام محارف اليونيكود (باللغة الإنجليزية) إذا أردت، ولكنه غير ضروريٍّ لفهم هذا المثال.

تُحقِّق دالّةُ التعمية السابقة الشرطَ التالي:

> إذا احتوى كائنان من النوع `SillyString` على سلاسلَ نصيّةٍ متساوية، فإنهما يحصلان على نفس شيفرة التعمية.

تَعمَل الشيفرة السابقة بشكل صحيح، ولكنها ليست بالكفاءة المطلوبة؛ فهي تعيد شيفرة التعمية نفسها لعدد كبير من السلاسل النصية المختلفة؛ فمثلًا لو تكوَّنت سلسلتان من نفس الأحرف مهما كان ترتيبها، فإنهما ستحصلان على نفس شيفرة التعمية، بل حتى لو لم تتكونا من نفس الأحرف، فقد يكون حاصل المجموع متساويًا مثل ac وbb.

إذا حصلت كائناتٌ كثيرةٌ على نفس شيفرة التعمية، فإنها ستُخزَّن في نفس الخريطة الفرعية، وإذا احتوت خرائط فرعيّةٌ معينّةٌ على مُدخَلاتٍ أكثرَ من غيرها، فإن السرعة التي نُحقّقها باستخدام عدد مقداره k من الخرائط تكون أقلّ بكثيرٍ من k، ولذلك ينبغي أن تكون دوال التعمية منتظمةً، أي لا بُدّ أن تكون احتمالية الحصول على أي قيمةٍ ضمن النطاق المسموح به متساوية. يُمكنك قراءة المزيد عن التصميم الجيّد لدوال التعمية لو أردت.

10.3 التعمية والقابلية للتغيير mutation

يُعَد الصنف `String` غير قابلٍ للتعديل، وكذلك الصنف `SillyString`؛ وذلك لأننا صرحنا عنه باستخدام `final`. بمجرد أن تُنشِئ كائنًا من النوع `SillyString`، فإنك لا تستطيع أن تُعدِّل متغير النسخة `innerString` المُعرَّف فيه لتجعله يشير إلى سلسلةٍ نصيّةٍ مختلفةٍ من النوع `String`، كما أنك لا تستطيع أن تُعدِّل السلسلة النصيّةَ التي يشير إليها، وبالتالي ستكون للكائن نفس شيفرة التعمية دائمًا.

ولكن، ماذا يحدث لو كان الكائن قابلًا للتعديل؟ انظر إلى تعريف الصنف `SillyArray` المطابقَ للصنف `SillyString` باستثناء أنه يَستخدِم مصفوفةَ محارفَ بدلًا من الصنف `String`:

```
public class SillyArray {
    private final char[] array;

    public SillyArray(char[] array) {
        this.array = array;
    }

    public String toString() {
        return Arrays.toString(array);
    }

    @Override
    public boolean equals(Object other) {
        return this.toString().equals(other.toString());
    }

    @Override
    public int hashCode() {
        int total = 0;
        for (int i=0; i<array.length; i++) {
            total += array[i];
        }
        System.out.println(total);
        return total;
    }
```

يُوفِّر الصنف `SillyArray` التابع `setChar` الذي يَسمَح بتعديل المحارف الموجودة في المصفوفة:

```
public void setChar(int i, char c) {
    this.array[i] = c;
}
```

والآن، لنفترض أننا أنشأنا كائنًا من النوع `SillyArray`، ثم أضفناه إلى خريطةٍ كالتالي:

```
SillyArray array1 = new SillyArray("Word1".toCharArray());
map.put(array1, 1);
```

شـــيفرة التعميـــة لتلـــك المصـــفوفة هي 461. والآن إذا عـــدَّلنا محتويـــات المصـــفوفة، وحاولنا أن نسترجعها كالتالي:

```
array1.setChar(0, 'C');
Integer value = map.get(array1);
```

ستكون شيفرة التعمية بعد التعديل قـد أصـبحت 441. بحصـولنا على شـيفرة تعميـةٍ مختلفـةٍ، فإننـا غالبًـا سنبحث في الخريطة الفرعيّة الخاطئة، وبالتالي لن نعـثر على المفتـاح على الـرغم من أنـه موجـود في الخريطـة، وهذا أمرٌ سيّء.

لا يُعَـد اسـتخدام الكائنـات القابلـة للتعـديل مفاتيحًـا لهياكـل البيانـات المبنيـة على التعميـة -مثـل MyBetterMap وHashMap- حلًّا آمنًا، فإذا كنت متأكّدًا من أن قيم المفـاتيح لن تتعـدّل بينمـا هي مُسـتخدَمة في الخريطة، أو أن أي تعديلٍ يُجرَى عليها لن يؤثر على شيفرة التعمية؛ فلربمـا يكـون اسـتخدامها مناسـبًا، ولكن من الأفضل دائمًا أن تتجنَّب ذلك.

10.4 تمرين 8

ستُنهِي في هذا التمرين تنفيذ الصنف MyBetterMap، حيث ستجد ملفات شيفرة التمرين في مسـتودع الكتاب:

- MyLinearMap.java: يحتوي على حل تمرين الفصل السابق الواجهة Map الذي سـنبني عليـه هـذا التمرين.
- MyBetterMap.java: يحتوي على شيفرة من نفس الفصل مع إضافة بعض التوابع التي يُفـترَض أن تُكملها.
- MyHashMap.java: يحتوي على تصوّرٍ مبدئيٍّ -عليك إكماله- لجدولٍ ينمو عند الضرورة.
- MyLinearMapTest.java: يحتوي على اختباراتِ وحدةٍ للصنف MyLinearMap.
- MyBetterMapTest.java: يحتوي على اختبارات وحدةٍ للصنف MyBetterMap.
- MyHashMapTest.java: يحتوي على اختبارات وحدةٍ للصنف MyHashMap.
- Profiler.java: يحتوي على شيفرةٍ لقياس الأداء ورسم تأثير حجم المشكلة على زمن التشغيل.
- ProfileMapPut.java: يحتوي على شيفرة تقيس أداء التابع Map.put.

كالعـــادة، عليـــك أن تُنفِّذ الأمـــر build ant لكي تُصـــرِّف ملفـــات الشـــيفرة، ثم الأمر ant MyBetterMapTest. ستفشل العديد من الاختبارات؛ وذلك لأنه ما يزال عليك إكمال بعض التوابع.

راجع تنفيذ التابعين `put` و`get` من ذات الفصول المشار إليها في الأعلى، ثم أكمل متن التابع `containsKey`. سيكون عليك استخدام التابع `chooseMap`، وبعدما تنتهي نفِّذ الأمر `ant MyBetterMapTest` مرةً أخرى، وتأكّد من نجاح `testContainsKey`.

أكمل متن التابع `containsValue`، ولا تَستخدِم لذلك التابع `chooseMap`. نفِّذ الأمر `ant MyBetterMapTest` مرةً أخرى، وتأكّد من نجاح `testContainsValue`. لاحِظ أن العثور على القيمةِ يتطلَّب عملًا أكبر من العثور على المفتاح.

يُعَد تنفيذ التابع `containsKey` تنفيذًا خطيًّا مثل التابعين `put` و`get`؛ لأنه عليه أن يبحث في إحدى الخرائط الفرعية. سنشرح في الفصل التالي كيف يُمكِننا تحسين هذا التنفيذ أكثر.

دورة إدارة تطوير المنتجات

تعلم تحويل أفكارك لمنتجات ومشاريع حقيقية بدءًا من دراسة السوق
وتحليل المنافسين وحتى إطلاق منتج مميز وناجح

التحق بالدورة الآن

11. الواجهة HashMap

كتبنا تنفيذًا للواجهة `Map` باستخدام التعمية hashing في الفصل السابق، وتوقَّعنا أن يكـون ذلـك التنفيـذ أسرع لأن القوائم التي يبحث فيها أقصر، ولكن ما يزال ترتيب نمو order of growth ذلك التنفيذ خطّيًّا.

إذا كان هناك عدد مقداره n من المُدْخَلات وعدد مقداره k من الخرائط الفرعية sub-maps، فإن حجم تلـك الخرائط يُساوِي n/k في المتوسط، أي ما يزال متناسبًا مع n، ولكننا لو زدنا k مع n، سنتمكَّن من الحدِّ من حجم n/k. لنفترض على سبيل المثال أننا سنضاعف قيمـة k في كـلّ مـرّةٍ تتجـاوز فيهـا n قيمـةَ k. في تلـك الحالـة، سيكون عدد المُدْخَلات في كلّ خريطةٍ أقلّ من 1 في المتوسط، وأقلّ من 10 على الأغلب بشـرط أن تُـوزِّع دالّـةُ التعميةِ المفاتيحَ بشكلٍ معقول.

إذا كان عدد المُدْخَلات في كلّ خريطةٍ فرعيّةٍ ثابتًا، سنتمكَّن من البحث فيهـا بـزمنٍ ثـابت. علاوة على ذلـك، يَستغرِق حساب دالة التعمية في العمـوم زمنًـا ثابتًـا (قـد يعتمـد على حجم المفتـاح، ولكنـه لا يعتمـد على عـدد المفاتيح). بناءً على ما سبق، ستَستغرِق توابع `Map` الأساسية أي `put` و `get` زمنًا ثابتًا.

سنفحص تفاصيل ذلك في التمرين التالي.

11.1 تمرين 9

وفَّرنا التصور المبدئي لجدول تعمية hash table ينمو عند الضرورة في الملف MyHashMap.java. انظر إلى بداية تعريفه:

```
public class MyHashMap<K, V> extends MyBetterMap<K, V> implements
Map<K, V> {

    // متوسط عدد المُدْخَلات المسموح بها في كل خريطة فرعية قبل إعادة حساب شيفرات التعمية
```

```
    private static final double FACTOR = 1.0;

    @Override
    public V put(K key, V value) {
        V oldValue = super.put(key, value);

        // تأكّد مما إذا كان عدد العناصر في الخريطة الفرعية قد تجاوز الحد الأقصى
        if (size() > maps.size() * FACTOR) {
            rehash();
        }
        return oldValue;
    }
}
```

يمتدّ الصنف `MyHashMap` من الصنف `MyBetterMap`، وبالتالي، فإنه يَرِث التوابع المُعرَّفة فيه. يعيد الصنف `MyHashMap` تعريفَ التابع `put`، فيَستدعِي أولًا التابع `put` في الصنف الأعلى superclass -أي يَستدعِي النسخة المُعرَّفة في الصنف `MyBetterMap`، ثم يَفحَص ما إذا كان عليه أن يُعيّد حساب شيفرة التعمية. يعيد التابع `size` عدد المُدْخَلات الكلية n بينما يعيد التابع `maps.size` عدد الخرائط k.

يُحدّد الثابت FACTOR -الذي يُطلَق عليه اسم عامل الحمولة load factor- العدد الأقصى للمُدْخَلات وسطيًّا في كل خريطة فرعية. إذا تحقَّق الشرط `n > k * FACTOR`، فهذا يَعنِي أن الشرط `n/k > FACTOR` مُتحقِّق أيضًا، مما يَعنِي أن عدد المُدْخَلات في كلّ خريطةٍ فرعيّةٍ قد تجاوز الحد الأقصى، ولذلك، يكون علينا استدعاء التابع `rehash`.

نفِّذ الأمر `ant build` لتصريف ملفات الشيفرة، ثم نفِّذ الأمر `ant MyHashMapTest`. ستفشل الاختبارات لأن تنفيذ التابع `rehash` يُبلِّغ عن اعتراضٍ exception، ودورك هو أن تكمل متن هذا التابع.

إذًا أكمل متن التابع `rehash` بحيث يُجمِّع المُدْخَلات الموجودة في الجدول. بعد ذلك، عليه أن يضبُط حجم الجدول، ويضيف المُدْخَلات إليه مرةً أخرى. وفَّرنا تابعين مساعدين هما `MyBetterMap.makeMaps` و `MyLinearMap.getEntries`. ينبغي أن يُضاعِف حلك عدد الخرائط k في كل مرة يُستدعَى فيها التابع.

11.2 تحليل الصنف MyHashMap

إذا كان عدد المُدْخَلات في أكبرِ خريطةٍ فرعيّةٍ متناسبًا مع n/k، وكانت الزيادة بقيمة k متناسبةً مع n، فإن العديد من التوابع الأساسية في الصنف `MyBetterMap` تُصبِح ثابتة الزمن:

```
    public boolean containsKey(Object target) {
        MyLinearMap<K, V> map = chooseMap(target);
        return map.containsKey(target);
    }

    public V get(Object key) {
        MyLinearMap<K, V> map = chooseMap(key);
        return map.get(key);
    }

    public V remove(Object key) {
        MyLinearMap<K, V> map = chooseMap(key);
        return map.remove(key);
    }
```

يَحسِب كلّ تابعٍ شيفرةَ التعمية للمفتاح، وهو ما يَستغِرق زمنًا ثابتًا، ثم يَستدعِي تابعًا على خريطةٍ فرعيّةٍ، وهو ما يَستغِرق أيضًا زمنًا ثابتًا.

ربما الأمورُ جيدةٌ حتى الآن، ولكن ما يزال من الصعب تحليل أداء التابع الأساسي الآخر `put`، فهو يَستغرِق زمنًا ثابتًا إذا لم يضطرّ لاستدعاء التابع `rehash`، ويَستغرِق زمنًا خطيًا إذا اضطرّ لذلك. بتلك الطريقة، يكون هذا التابع مشابهًا للتابع `ArrayList.add` الذي حللنا أداءه في الفصل الثالث قائمة المصفوفة ArrayList.

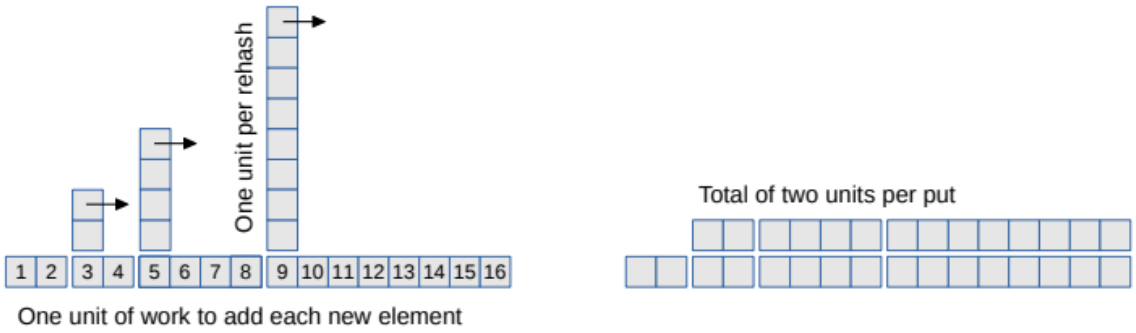
ولنفس السبب، يتضّح أن التابع `MyHashMap.put` يَستغرِق زمنًا ثابتًا إذا حسبنا متوسط زمنِ متتاليةٍ من الاستدعاءات. يعتمد هذا التفسير على التحليل بالتسديد amortized analysis الذي شرحناه في نفس الفصل.

لنفترض أن العدد المبدئيَّ للخرائط الفرعية k يساوي 2، وأن عامل التحميل يساوي 1، والآن، لنفحص الزمن الذي يَستغرِقه التابع `put` لإضافة متتاليةٍ من المفاتيح. سنَعُدّ عدد المرات التي سنضطرّ خلالها لحساب شيفرة التعمية لمفتاحٍ وإضافته لخريطةٍ فرعيّةٍ، وسيكون ذلك بمنزلةِ وحدةِ عملٍ واحدة.

سيُنفِّذ التابع `put` عند استدعائه لأوّل مرةٍ وحدة عملٍ واحدةً من وحدات العمل، وسيُنفِّذ أيضًا عند استدعائه في المرة الثانية وحدةَ عملٍ واحدةٍ. أمّا في المرة الثالثة، فسيضطرّ لإعادة حساب شيفرات التعمية، وبالتالي، سيُنفِّذ عدد 2 من وحدات العمل لكي يَحسِب شيفرات تعمية المفاتيح الموجودة بالفعل بالإضافة إلى وحدة عملٍ أخرى لحساب شيفرة تعمية المفتاح الجديد.

والآن، أصبح حجم الجدول 4، وبالتالي، سيُنفِّذ التابع `put` عند استدعائه في المرة التالية وحدة عملٍ واحـدةٍ، ولكن، في المرة التالية التي سيضطرّ خلالها لاستدعاء `rehash`، فإنه سيُنفِّذ 4 وحدات عمـلٍ لحسـاب شـيفرات تعميةِ المفاتيح الموجودة ووحدة عملٍ إضافيةٍ للمفتاح الجديد.

تُوضِّح الصورة التالية هذا النمط، حيث يظهر العمل اللازم لحساب شيفرة تعميـة مفتـاحٍ جديـدٍ في الأسـفل بينما يَظهَر العمل الإضافي كبرج.



إذا أنزلنا الأبراج كما تقترح الأسهم، سيملأ كلّ واحدٍ منها الفراغ الموجود قبل الـبرج التـالي، وسنحصـل على ارتفاعٍ منتظمٍ يساوي 2 وحدة عمل. يُوضِّح ذلك أن متوسط العمل لكل استدعاءٍ للتـابع `put` هـو 2 وحـدة عمـل، مما يَعنِي أنه يَستغرِق زمنًا ثابتًا في المتوسط.

يُوضِح الرسم البياني مدى أهمية مضاعفة عدد الخرائط الفرعية k عندما نعيد حساب شيفرات التعمية؛ فلـو أضفنا قيمةً ثابتةً إلى k بدلًا من مضـاعفتها، سـتكون الأبـراج قريبـة جـدًا من بعضـها، وسـتتراكم فـوق بعضـها، وعندها، لن نحصل على زمن ثابت.

11.3 مقايضات ما بين الزمن والأداء

رأينا أن التوابع `containsKey` و `get` و `remove` تَستغرِق زمنًا ثابتًا، وأن التـابع `put` يَسـتغرِق زمنًـا ثابتًـا في المتوسط، وهذا أمرٌ رائعٌ بحق، فأداء تلك العمليات هو نفسه تقريبًا بغض النظر عن حجم الجدول.

يَعتمِد تحليلنا لأداء تلك العمليات على نموذج معالجـةٍ بسـيطٍ تَسـتغرِق كـلّ وحـدةٍ عمـل فيـه نفس مقـدار الزمن، ولكن الحواسيب الحقيقية أعقدُ من ذلك بكثير، فتبلغ أقصى سرعتها عنـدما تتعامـل مـع هياكـل بيانـات صغيرة بما يكفي لتُوضَع في الذاكرة المخبئية cache، وتكون أبطأ قليلًا عندما لا يتناسـب حجم هياكـل البيانـات مع الذاكرة المخبئية ولكن مع إمكانية وضعها في الذاكرة، وتكون أبطـأ بكثـيرٍ إذا لم يتناسـب حجم الهياكـل حـتى مع الذاكرة.

هنالك مشكلةٌ أخرى، وهي أن التعمية لا تكـون ذات فائـدةٍ في هـذا التنفيـذ إذا كـان المُـدْخَل قيمـةً وليس مفتاحًا، فالتابع `containsValue` خطّيٌّ لأنه مضطرّ للبحث في كل الخرائط الفرعية، فليس هناك طريقةٌ فعالةٌ للبحث عن قيمة ما والعثور على مفتاحها المقابل (أو مفاتيحها).

بالإضافة إلى ما سبق، فإن بعض التوابع التي كانت تَسـتغرِق زمنًـا ثابتًـا في الصـنف `MyLinearMap` قـد أصبحت خطّيّةً. انظر إلى التابع التالي على سبيل المثال:

```
    public void clear() {
        for (int i=0; i<maps.size(); i++) {
            maps.get(i).clear();
        }
    }
```

يضطرّ التابع `clear` لتفريغ جميع الخرائط الفرعيّةِ التي يتناسب عددها مع n، وبالتـالي، هـذا التـابعُ خطّيٌّ. لحسن الحظ، لا يُستخدَم هذا التابع كثيرًا، ولذا فما يزال هذا التنفيذ مقبولًا في غالبية التطبيقات.

11.4 تشخيص الصنف MyHashMap

سنفحص أولًا ما إذا كان التابع `MyHashMap.put` يستغرق زمنًا خطيًا.

نفِّذ الأمر `ant build` لتصريف ملفات الشيفرة، ثم نفِّذ الأمر `ant ProfileMapPut`. يقيس الأمر زمن تشغيل التابع `HashMap.put` (الذي توفِّره جافا) مع أحجام مختلفةٍ للمشكلة، ويَعـرِض زمن التشـغيل مـع حجم المشكلة بمقياس لوغاريتمي-لوغاريتمي. إذا كانت العملية تستغرق زمنًا ثابتًا، ينبغي أن يكون الزمن الكليُّ لعـدد n من العمليات خطيًّا، ونحصل عندها على خطٍّ مستقيمٍ ميله يساوي 1. عندما شغَّلنا تلك الشيفرة، كـان الميـل المُقدَّر قريبًا من 1، وهو ما يتوافق مع تحليلنا للتابع. ينبغي أن تحصل على نتيجةٍ مشابهة.

عـدِّل الصـنف `ProfileMapPut.java` لكي يُشـخِّص التنفيـذ `MyHashMap` الخـاص بـك وليس تنفيـذ الجافا `HashMap`. شغِّل شيفرة التشخيص مـرةً أخـرى، وافحص مـا إذا كـان الميـل قريبًـا من 1. قـد تضـطرّ إلى تعديل قيم `startN` و `endMillis` لكي تعثر على نطاقٍ مناسبٍ من أحجام المشكلة يبلغ زمن تشـغيلها أجـزاءَ صغيرةً من الثانية، وفي نفس الوقت لا يتعدى بضعة آلاف.

عندما شغّلنا تلك الشيفرة، وجدنا أن الميلَ يساوي 1.7 تقريبًا، ممـا يشـير إلى أن ذلـك التنفيـذ لا يسـتغرق زمنًا ثابتًا. في الحقيقة، هو يحتوي على خطأٍ برمجيٍّ مُتعلِّقٍ بالأداء.

عليك أن تعثر على ذلك الخطأِ وتصلحَه وتتأكَّد من أن التابع `put` يستغرق زمنًا ثابتًا كمـا كنـا نتوقّـع قبـل أن تنتقل إلى القسم التالي.

11.5 إصلاح الصنف MyHashMap

تتمثل مشكلة الصنف `MyHashMap` بالتابع `size` الموروث من الصنف `MyBetterMap`. انظر إلى شيفرته فيما يلي:

```
    public int size() {
        int total = 0;
        for (MyLinearMap<K, V> map: maps) {
            total += map.size();
        }
        return total;
    }
```

كما ترى يضطرّ التابع للمرور عبر جميع الخرائط الفرعية لكي يحسب الحجم الكلّيّ. نظرًا لأننا نزيد عدد الخرائط الفرعية k بزيادة عدد المُدْخَلات n، فإن k يتناسب مع n، ولذلك، يستغرق تنفيذ التابع `size` زمنًا خطّيًّا.

يجعل ذلك التابع `put` خطّيًّا أيضًا لأنه يَستخدِم التابع `size` كما هو مُبيَّنٌ في الشيفرة التالية:

```
    public V put(K key, V value) {
        V oldValue = super.put(key, value);

        if (size() > maps.size() * FACTOR) {
            rehash();
        }
        return oldValue;
    }
```

إذا تركنا التابع `size` خطّيًّا، فإننا نهدر كل ما فعلناه لجعل التابع `put` ثابتَ الزمن.

لحسن الحظ، هناك حلٌّ بسيطٌ رأيناه من قبل، وهو أننا سنحتفظ بعدد المُدْخَلات ضمن متغير نسخة instance variable، وسنُحدِّثه كلما استدعينا تابعًا يُجرِي تعديلًا عليه.

ستجد الحل في مستودع الكتاب في الملف MyFixedHashMap.java. انظر إلى بداية تعريف الصنف:

```
public class MyFixedHashMap<K, V> extends MyHashMap<K, V> implements
Map<K, V> {

    private int size = 0;
```

```
    public void clear() {
        super.clear();
        size = 0;
    }
```

بدلًا من تعديل الصنف MyHashMap، عرَّفنا صنفًا جديدًا يمتدّ منه، وأضفنا إليه متغير النسخة size، وضبطنا قيمتَه المبدئيَّة إلى صفر.

أجرينا أيضًا تعديلًا بسيطًا على التابع clear. استدعينا أولًا نسخة clear المُعرَّفة في الصنف الأعلى (لتفريغ الخرائط الفرعية)، ثم حدثنا قيمة size.

كانت التعديلات على التابعين remove و put أعقد قليلًا؛ لأننا عندما نستدعي نسخها في الصنف الأعلى، فإننا لا نستطيع معرفة ما إذا كان حجم الخرائط الفرعيّة قد تغيّر أم لا. تُوضِّح الشيفرة التالية الطريقة التي حاولنا بها معالجة تلك المشكلة:

```
    public V remove(Object key) {
        MyLinearMap<K, V> map = chooseMap(key);
        size -= map.size();
        V oldValue = map.remove(key);
        size += map.size();
        return oldValue;
    }
```

يَستخدِم التابعُ remove التابعَ chooseMap لكي يعثر على الخريطة المناسبة، ثم يَطرَح حجمها. بعد ذلك، يَستدعِي تابع الخريطة الفرعية remove الذي قد يُغيّر حجم الخريطة، حيث يعتمد ذلك على ما إذا كان قد وجد المفتاح فيها أم لا، ثم يضيف الحجم الجديد للخريطة الفرعية إلى size، وبالتالي تصبح القيمة النهائية صحيحة.

أعدنا كتابة التابع put باتباع نفس الأسلوب:

```
    public V put(K key, V value) {
        MyLinearMap<K, V> map = chooseMap(key);
        size -= map.size();
        V oldValue = map.put(key, value);
        size += map.size();

        if (size() > maps.size() * FACTOR) {
            size = 0;
```

```
            rehash();
        }
        return oldValue;
    }
```

واجهنا نفس المشكلة هنا: عندما استدعينا تابع الخريطة الفرعية `put`، فإننا لا نعرف ما إذا كان قد أضاف مدخلًا جديدًا أم لا، ولذلك استخدمنا نفس الحل، أي بطرح الحجم القديم، ثم إضافة الحجم الجديد.

والآن، أصبح تنفيذ التابع `size` بسيطًا:

```
    public int size() {
        return size;
    }
```

ويستغرق زمنًا ثابتًا بوضوح.

عندما شخَّصنا أداء هذا الحل، وجدنا أن الزمنَ الكلّيَّ لإضافة عدد n من المفاتيح يتناسب مع n، ويعني ذلك أن كلّ استدعاءٍ للتابع `put` يستغرق زمنًا ثابتًا كما هو مُتوقّع.

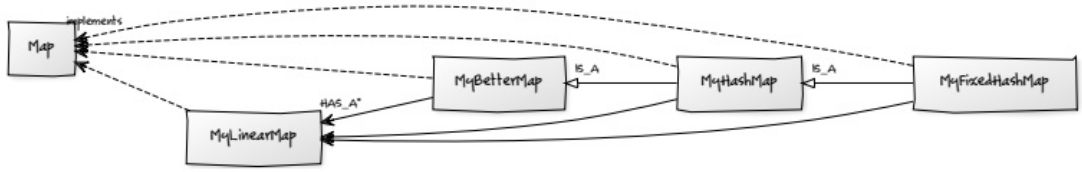
11.6 مخططات أصناف UML

كان أحد التحديات التي واجهناها عند العمل مع شيفرة هذا الفصل هو وجود عددٍ كبيرٍ من الأصناف التي يعتمد بعضها على بعض. انظر إلى العلاقات بين تلك الأصناف:

- `MyLinearMap` يحتوي على `LinkedList` ويُنفِّذ `Map`.
- `MyBetterMap` يحتوي على الكثير من كائنات الصنف `MyLinearMap` ويُنفِّذ `Map`.
- `MyHashMap` يمتد من الصنف `MyBetterMap`، ولذلك يحتوي على كائناتٍ تنتمي إلى الصنف `MyLinearMap` ويُنفِّذ `Map`.
- `MyFixedHashMap` يمتد من الصنف `MyHashMap` ويُنفِّذ `Map`.

لتسهيلِ فهمِ هذا النوع من العلاقات، يلجأ مهندسو البرمجيات إلى استخدامِ مخططاتِ أصنافِ UML -اختصارًا إلى لغة النمذجة الموحدة Unified Modeling Language. تُعدّ مخططات الأصناف class diagram واحدةً من المعايير الرسومية التي تُعرِّفها UML.

يُمثَّل كل صنفٍ في تلك المخططات بصندوق، بينما تُمثَل العلاقات بين الأصناف بأسهم. تَعرِض الصورة التالية مخطط أصناف UML للأصناف المُستخدَمة في التمرين السابق، وهي مُولَّدةٌ تلقائيًّا باستخدام أداة yUML المتاحة عبر الإنترنت.



تُمثَّل العلاقات المختلفة بأنواعٍ مختلفة من الأسهم:

- تشير الأسهم ذات الرؤوس الصلبة إلى علاقات من نوع HAS-A. على سبيل المثال، تحتوي كلّ نسخةٍ من الصنف `MyBetterMap` على نسخٍ متعددةٍ من الصنف `MyLinearMap`، ولذلك هي متصلة بأسهم صلبة.
- تشير الأسهم ذات الرؤوس المجوفةِ والخطوطِ الصلبة إلى علاقات من نوع IS-A. على سبيل المثال، يمتد الصنف `MyHashMap` من الصنف `MyBetterMap`، ولذلك ستجدهما موصولين بسهم IS-A.
- تشير الأسهم ذات الرؤوس المجوّفة والخطوط المتقطّعة إلى أن الصنف يُنفِّذ واجهة. تُنفِّذ جميع الأصناف في هذا المخطط الواجهةَ `Map`.

تُوفِّر مخططات أصناف UML طريقةً موجزةً لتوضيح الكثير من المعلومات عن مجموعةٍ من الأصناف، وتُستخدَم عادةً في مراحل التصميم للإشارة إلى تصاميمَ بديلة، وفي مراحل التنفيذ لمشاركة التصور العام عن المشروع، وفي مراحل النشر لتوثيق التصميم.

هل تريد كتابة سيرة ذاتية احترافية؟

نساعدك في إنشاء سيرة ذاتية احترافية عبر خبراء توظيف
مختصين في أكبر منصة توظيف عربية عن بعد

أنشئ سيرتك الذاتية الآن

12. الواجهة TreeMap

سـنناقش في هـذا الفصـل تنفيـذًا جديـدًا للواجهـة Map يُعـرَف باسـم شـجرة البحث الثنائية binary search tree. يشيع استخدام هذا التنفيذ عند الحاجة إلى الاحتفاظ بترتيب العناصر.

12.1 ما هي مشكلة التعمية hashing؟

يُفترَض أن تكون على معرفةٍ بالواجهة Map، وبالصنف المُنفِّذ لها HashMap الذي تُـوفِّره جافـا. إذا كنت قـد قرأت الفصل السابق الذي نفّذنا فيه نفس الواجهة باستخدام جدول hash table، فيُفترَض أنك تَعرِف الكيفيـة التي يَعمَل بها الصنف HashMap، والسببَ الذي لأجله تَستغرِق توابع ذلك التنفيذ زمنًا ثابتًا.

يشيع استخدام الصنف HashMap بفضل كفاءته العالية، ولكنه مع ذلك ليس التنفيذ الوحيد للواجهـة Map، فهناك أسبابٌ عديدةٌ قد تدفعك لاختيار تنفيذٍ آخرَ، منها:

1. قد تستغرق عملية حساب شيفرة التعمية زمنًا طويلًا. فعلى الـرغم من أن عمليـات الصـنف HashMap تستغرق زمنًا ثابتًا، فقد يكون ذلك الزمن كبيرًا.
2. تَعمَل التعمية بشكلٍ جيّدٍ فقط عنـدما تُـوزِّع دالـةُ التعميـةِ hash function المفـاتيحَ بالتسـاوي على الخرائط الفرعية، ولكنّ تصميمَ دوالِّ التعمية لا يُعدّ أمرًا سـهلًا، فـإذا احتـوت خريطـةٌ فرعيّـةٌ معيّنـةٌ على مفاتيحَ كثيرةٍ، تقل كفاءة الصنف HashMap.
3. لا تُخزَّن المفاتيح في الجدول وفقًا لترتيبٍ معيّنٍ، بل قد يتغير ترتيبهـا عنـد إعـادة ضـبط حجم الجـدول وإعادة حساب شيفرات التعمية للمفاتيح. بالنسـبة لبعض التطبيقـات، قـد يكـون الحفـاظ على تـرتيب المفاتيح ضروريًا أو مفيدًا على الأقل.

من الصعب حل كل تلك المشكلات في الوقت نفسه، ومع ذلك، تُوفِّر جافا التنفيذ `TreeMap` الـذي يُعـالِج بعضًا منها:

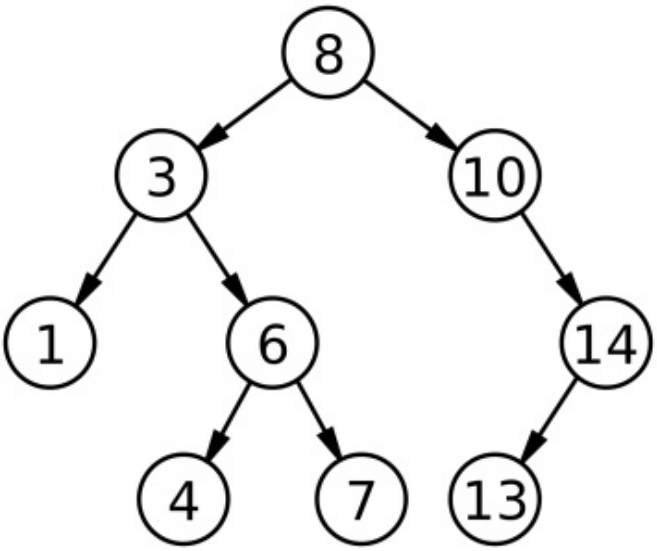
1. لا يَستخدِم ذلك الصنفُ دالّةَ تعميةٍ، وبالتالي، يتجنَّب الزمن الإضافي اللازم لحساب شيفرات التعميــة، كما يُجنّبُنا صعوباتِ اختيار دالّةِ تعميةٍ مناسبة.
2. تُخزَّن المفاتيح في الصنف `TreeMap` بهيئة شجرةِ بحثٍ ثنائيّـةٍ، ممـا يُسـهِّل من التنقـل في المفـاتيح وفقًا لترتيبٍ معيّنٍ وبزمنٍ خطّي.
3. يتناسب زمن تنفيذ غالبيّة توابع الصنف `TreeMap` مع log(n)، والـتي رغم أنهـا ليسـت بكفـاءة الـزمن الثابت، ولكنها ما تزال جيدةً جدًا.

سنشرح طريقة عمل أشجار البحث الثنائية في القسم التالي ثم سنستخدِمها لتنفيذ الواجهـة `Map`، وأخـيرًا، سنُحلّل أداء التوابعِ الأساسيّةِ في الخرائط المُنفَّذة باستخدام شجرة.

12.2 أشجار البحث الثنائية

شجرة البحث الثنائية عبارةٌ عن شجرةٍ تحتوي كلُّ عقدةٍ فيها على مفتاحٍ، كما تتوفّر فيها "خاصية BST" التي تنص على التالي:

1. إذا كان لأي عقدةٍ أبٍ عقدةٌ ابنةٌ يسرى، فلا بُدّ أن تكون قيم جميع المفاتيح الموجودة في الشجرة الفرعية اليسرى أصغرَ من قيمة مفتاح تلك العقدة.
2. إذا كان لأي عقدةٍ أبٍ عقدةٌ ابنةٌ يمنى، فلا بُدّ أن تكون قيم جميع المفاتيح الموجودة في الشجرة الفرعيـة اليمنى أكبرَ من قيمة مفتاح تلك العقدة.



تَعرِض الصورة السابقة شجرة أعدادٍ صحيحةٍ تُحقِّق الشروطَ السابقة. هذه الصورة مأخوذةٌ من مقالةِ ويكيبيديا موضوعها أشجار البحث الثنائية، والتي قد تفيدك لحل هذا التمرين.

لاحِظ أن مفتاح عقدة الجذر يساوي 8. يُمكِنك التأكّد من أن مفاتيح العقد الموجودة على يسار عقدة الجذر أقلّ من 8 بينما مفاتيح العقد الموجودة على يمينها أكبرَ من 8. تأكّد من تحقّق نفس الشرط للعقد الأخرى.

لا يَستغرِق البحث عن مفتاحٍ ما ضمن شجرةِ بحثٍ ثنائيّةٍ زمنًا طويلًا، لأنك غير مُضطرّ للبحث في كامل الشجرة، وإنما عليك أن تبدأ من جذر الشجرة، ومن ثمّ، تُطبِّق الخوارزميةَ التالية:

1. افحص قيمة المفتاح الهدف`target` الذي تبحث عنه وطابقه مع قيمة مفتاح العقدة الحالية. فإذا كانا متساويين، فقد انتهيت بالفعل.
2. أمّا إذا كان المفتاح `target` أصغرَ من المفتاح الحاليّ، ابحث في الشجرة الموجودة على اليسار، فإذا لم تكن موجودةً، فهذا يَعنِي أن المفتاح `target` غيرُ موجودٍ في الشجرة.
3. وأمّا إذا كان المفتاح `target` أكبرَ من المفتاح الحاليّ، ابحث في الشجرة الموجودة على اليمين. فإذا لم تكن موجودة، فهذا يَعنِي أنّ المفتاح `target` غير موجود في الشجرة.

يَعنِي ما سبق أنك مضطرٌّ للبحث في عقدةٍ ابنة واحدةٍ فقط لكل مستوىً ضمن الشجرة. فعلى سبيل المثال، إذا كنت تبحث عن مفتاح `target` قيمته تساوي 4 في الرسمة السابقة، فعليك أن تبدأ من عقدة الجذر التي تحتوي على المفتاح 8، ولأن المفتاح المطلوب أقلّ من 8، فستذهب إلى اليسار، ولأنه أكبر من 3، فستذهب إلى اليمين، ولأنه أقل من 6، فستذهب إلى اليسار، ثم ستعثر على المفتاح الذي تبحث عنه.

تطلّب البحث عن المفتاح في المثال السابق 4 عملياتِ موازنةٍ رغم أنّ الشجرة تحتوي على 9 مفاتيح. يتناسب عدد الموازنات المطلوبة في العموم مع ارتفاع الشجرة وليس مع عدد المفاتيح الموجودة فيها.

ما الذي نستنتجه من ذلك بخصوص العلاقة بين ارتفاع الشجرة `h` وعدد العقد `n`؟ إذا بدأنا بارتفاعٍ قصيرٍ وزدناه تدريجيًّا، فسنحصل على التالي:

- إذا كان ارتفاع الشجرة `h` يساوي 1، فإن عدد العقد `n` ضمن تلك الشجرة يساوي 1.
- وإذا كان ارتفاع الشجرة `h` يساوي 2، فيُمكِننا أن نضيف عقدتين أُخرَيَيْنِ، وبالتالي، يصبح عدد العقد `n` في الشجرة مساويًا للقيمة 3.
- وإذا كان ارتفاع الشجرة `h` يساوي 3، فيُمكِننا أن نضيف ما يصل إلى أربعِ عقدٍ أخرى، وبالتالي، يصبح عدد العقد `n` مساويًا للقيمة 7.
- وإذا كان ارتفاع الشجرة `h` يساوي 4، يُمكِننا أن نضيف ما يصل إلى ثماني عقدٍ أخرى، وبالتالي، يصبح عدد العقد `n` مساويًا للقيمة 15.

ربما لاحظت النمط المشترك بين تلك الأمثلة. إذا رقَّمنا مستويات الشجرة تـدريجيًّا من 1 إلى h، فـإن عـدد العقـد في أيّ مسـتوىً `i` يَصِـل إلى 2i-1 كحـدٍّ أقصـى، وبالتـالي، يكـون عـددُ العقـدِ الإجمـاليُّ في عـدد `h` من المستويات هو 2h-1. إذا كان:

```
n = 2h - 1
```

بتطبيق لوغاريتم الأساس 2 على طرفي المعادلة السابقة، نحصل على التالي:

```
log2 n ≈ h
```

إذًا، يتناسب ارتفاع الشجرة مع log(n) إذا كانت الشجرة ممتلئةً؛ أي إذا كان كل مسـتوىً فيهـا يحتـوي على العدد الأقصى المسموح به من العقد.

وبالتالي، يتناسب زمنُ البحثِ عن مفتاحٍ ضمن شـجرةِ بحثٍ ثنائيّـةٍ مـع log(n). يُعـدّ ذلـك صـحيحًا سـواءٌ أكانت الشجرةُ ممتلئة كلّيًّا أم جزئيًا، ولكنه ليس صحيحًا في المطلق، وهو ما سنراه لاحقًا.

يُطلَق على الخوارزميات التي تَستغرِق زمنًا يتناسب مـع log(n) اسـم "خوارزميـة لوغاريتميـة"، وتنتمي إلى ترتيب النمو O(log(n)).

12.3 تمرين 10

ستكتب في هذا التمرين تنفيذًا للواجهة `Map` باستخدام شجرةِ بحثٍ ثنائيّةٍ.

انظر إلى التعريفِ المبدئيّ للصنف `MyTreeMap`:

```
public class MyTreeMap<K, V> implements Map<K, V> {

    private int size = 0;
    private Node root = null;
```

يحتفظ متغيّرُ النسخةِ `size` بعـدد المفـاتيح بينمـا يحتـوي `root` على مرجـع reference يشـير إلى عقـدة الجـذر الخاصّـةِ بالشـجرة. إذا كـانت الشـجرة فارغـةً، يحتـوي `root` على القيمـة `null` وتكـون قيمـة `size` مساويةً للصفر.

انظر إلى الصنف `Node` المُعرَّف داخل الصنف `MyTreeMap`:

```
    protected class Node {
        public K key;
        public V value;
        public Node left = null;
```

```
        public Node right = null;

        public Node(K key, V value) {
            this.key = key;
            this.value = value;
        }
    }
```

تحتوي كل عقـدةٍ على زوج مفتـاح/قيمـة وعلى مراجـعَ تشـير إلى العقـد الأبنـاء `left` و `right`. قـد تكـون إحداهما أو كلتاهما فارغة أي تحتوي على القيمة `null`.

من السهل تنفيذ بعض توابع الواجهة `Map` مثل `size` و `clear`:

```
    public int size() {
        return size;
    }

    public void clear() {
        size = 0;
        root = null;
    }
```

من الواضح أن التابع `size` يَستغرِق زمنًا ثابتًا.

قد تظن للوهلة الأولى أن التابع `clear` يستغرق زمنًا ثابتًا، ولكن فكر بالتالي: عندما تُضبَط قيمـة `root` إلى القيمة `null`، يستعيد كانسُ المهملات garbage collector العقدَ الموجودة في الشجرة ويَستغرِق لإنجاز ذلك زمنًا خطيًا. هل ينبغي أن يُحسَب العمل الذي يقوم به كانس المهملات؟ ربما.

ستكتب في القسم التالي تنفيذًا لبعض التوابع الأخرى لا سيّما التابعين الأهمّ `get` و `put`.

12.4 تنفيذ الصنف TreeMap

ستجد ملفات الشيفرة التالية في مستودع الكتاب:

- `MyTreeMap.java`: يحتوي على الشيفرة المُوضَّحة في الأعلى مع تصورٍ مبدئيٍّ للتوابع غير المكتملة.
- `MyTreeMapTest.java` : يحتوي على اختبارات وحدةٍ للصنف `MyTreeMap`.

نفِّذ الأمر `ant build` لتصريف ملفات الشيفرة، ثم نفِّذ الأمر `ant MyTreeMapTest`. قد تفشل بعض الاختبارات لأنّ هناك بعض التوابع التي ينبغي عليك إكمالها أولًا.

وفَّرنا تصورًا مبدئيًا للتابعين `get` و `containsKey`. يَستخدِم كلاهما التابع `findNode` المُعرَّف باستخدام المُعدِّل `private`، لأنه ليس جزءًا من الواجهة `Map`. انظر إلى بداية تعريفه:

```
    private Node findNode(Object target) {
        if (target == null) {
            throw new IllegalArgumentException();
        }

        @SuppressWarnings("unchecked")
        Comparable<? super K> k = (Comparable<? super K>) target;

        // TODO: FILL THIS IN!
        return null;
    }
```

يشير المعامل `target` إلى المفتاح الذي نبحث عنه. إذا كانت قيمة `target` تساوي `null`، يُبلِّغ التابع `findNode` عن اعتراضٍ exception. في الواقع، بإمكان بعض تنفيذات الواجهة `Map` معالجة الحالات التي تكون فيها قيمة المفتاح فارغة، ولكن لأننا في هذا التنفيذ نَستخدِم شجرة بحثٍ ثنائيّةٍ، فلا بُدّ أن نتمكّن من موازنةِ المفاتيح، ولذلك، يُشكِّل التعامل مع القيمة `null` مشكلةً، ولذا ولكي نُبسِّط الأمور، لن نَسمَح لهذا التنفيذ باستخدام القيمة `null` كمفتاح.

تُوضِّح الأسطر التالية كيف يمكِننا أن نوازن قيمة المفتاح `target` مع قيمة مفتاحٍ ضمن الشجرة. تشير نسخةُ التابعين `get` و `containsKey` إلى أن المُصرِّف يتعامل مع `target` كما لو أنه ينتمي إلى النوع `Object`، ولأننا نريد موازنته مع المفاتيح، فإننا نحوِّل نوع `target` إلى النوع `Comparable<? super K>` لكي يُصبِح قابلًا للموازنة مع كائنٍ من النوع `K` أو أيٍّ من أصنافه الأعلى superclass. يُمكِنك قراءة المزيد عن أنواع محارف البدل (باللغة الإنجليزية).

ليس المقصودُ من هذا التمرين احترافَ التعامل مع نظام الأنواع في لغة جافا، فدورك فقط هو أن تُكمِل التابع `findNode`. إذا وجد ذلك التابع عقدةً تحتوي على قيمة `target` كمفتاح، فعليه أن يعيدها، أما إذا لم يجدها، فعليه أن يعيد القيمة `null`. ينبغي أن تنجح اختبارات التابعين `get` و `containsKey` بعد أن تنتهي من إكمال هذا التابع.

> ينبغي للحل الخاص بك أن يبحث في مسارٍ واحدٍ فقط ضمن الشجرة لا أن يبحث في كامل الشجرة، أي سيَستغرِق زمنًا يتناسب مع ارتفاع الشجرة.

والآن، عليك أن تُكمِل التابع `containsValue`، ولمساعدتك على ذلك، وفَّرنا التابع المساعد `equals` الذي يُوازِن بين قيمة `target` وقيمة مفتاحٍ معيّنٍ. على العكس من المفاتيح، قد لا تكون القيم المُخزَّنة في

الشجرة قابلةً للموازنة، وبالتالي، لا يُمكِننا أن نَستخدِم معها التابع `compareTo`، وإنما علينا أن نَستدعِيَ التابعَ `equals` بالمتغير `target`.

بخلاف التابع `findNode`، سيضطرّ التابع `containsValue` للبحث في كامل الشجرة، أي يتناسب زمن تشغيله مع عدد المفاتيح n وليس مع ارتفاع الشجرة h.

والآن، أكمل متنَ التابع `put`. وفَّرنا له شيفرةً مبدئيةً تعالج الحالات البسيطة فقط:

```
    public V put(K key, V value) {
        if (key == null) {
            throw new IllegalArgumentException();
        }
        if (root == null) {
            root = new Node(key, value);
            size++;
            return null;
        }
        return putHelper(root, key, value);
    }

    private V putHelper(Node node, K key, V value) {
        // TODO: Fill this in.
    }
```

إذا حاولت استخدَام القيمة الفارغة `null` كمفتاحٍ، سيُبلّغ `put` عن اعتراض. إذا كانت الشجرة فارغةً، سيُنشِئ التابع `put` عقدةً جديدةً، ويُهيِّئُ المتغير `root` المُعرَّف فيها.

أما إذا لم تكن فارغةً، فإنه يَستدعِي التابع `putHelper` المُعرَّف باستخدام المُعدِّل `private` لأنه ليس جزءًا من الواجهة `Map`.

أكمل متنَ التابع `putHelper` واجعله يبحث ضمن الشجرة وفقًا لما يلي:

1. إذا كان المفتاح `key` موجودًا بالفعل ضمن الشجرة، عليه أن يَستبدِل القيمة الجديدة بالقيمة القديمة، ثم يعيدها.
2. إذا لم يكن المفتاح `key` موجودًا في الشجرة، فعليه أن يُنشِئ عقدةً جديدةً، ثم يضيفها إلى المكان الصحيح، وأخيرًا، يعيد القيمة `null`.

ينبغي أن يَستغرِق التابع `put` زمنًا يتناسب مع ارتفاع الشجرة h وليس مع عدد العناصر n. سيكون من الأفضل لو بحثت في الشجرة مرةً واحدةً فقط، ولكن إذا كان البحث فيها مرّتين أسهلَ بالنسبة لك، فلا بأس. سيكون التنفيذ أبطأ، ولكنّه لن يؤثر على ترتيب نموه.

وأخيرًا، عليك أن تُكمِل متن التابع `keySet`. يعيد ذلك التابع -وفقًا لـللتوثيق (باللغة الإنجليزية)- قيمة من النوع `Set` بإمكانها المرور عبر جميع مفاتيح الشجرة بترتيبٍ تصاعديٍّ وفقًا للتابع `compareTo`. كنا قد إستخدَمنا الصنف `HashSet` في الفصل الثامن المفهرس Indexer. يُعدّ ذلك الصنف تنفيذًا للواجهة `Set` ولكنه لا يحافظ على ترتيب المفاتيح. في المقابل، يتوفَّر التنفيذ LinkedHashSet الذي يحافظ على ترتيب المفاتيح.

يُنشِئ التابع `keySet` قيمةً من النوع `LinkedHashSet` ويعيدها كما يلي:

```
    public Set<K> keySet() {
        Set<K> set = new LinkedHashSet<K>();
        return set;
    }
```

عليك أن تُكمِل هذا التابع بحيث تجعلُه يضيفُ المفاتيح من الشجرة إلى المجموعة `set` بترتيبٍ تصاعديّ.

> قد تحتاج إلى كتابةِ تابعٍ مساعدٍ، وقد ترغب بجعله تعاوديًّا recursive، كما قد يساعدك على الحلّ قراءةُ بعض المعلومات عن أسلوب "في الترتيب" التنقل في الشجرة (باللغة الإنجليزية).

ينبغي أن تنجح جميع الاختبارات بعد أن تنتهي من إكمال هذا التابع. سنَعرِض حل هذا التمرين ونفحص أداء التوابع الأساسية في الصنف في فصل لاحق من هذا الكتاب.

دورة إدارة تطوير المنتجات

مميزات الدورة

- بناء معرض أعمال قوي بمشاريع حقيقية
- وصول مدى الحياة لمحتويات الدورة
- تحديثات مستمرة على الدورة مجانًا
- شهادة معتمدة من أكاديمية حسوب
- إرشادات من المدربين على مدار الساعة
- من الصفر دون الحاجة لخبرة مسبقة

اشترك الآن

13. شجرة البحث الثنائي Binary Search Tree

سنناقش في هذا الفصل حل تمرين الفصل السابق، ونختبر أداء الخرائط المُنفّذة باستخدام شـجرة، وبعـدها سنناقش إحدى مشاكل ذلك التنفيذ والحلّ الذي يقدمه الصنف `TreeMap` لتلك المشكلة.

13.1 الصنف MyTreeMap

وفَّرنا في الفصل المشار إليها تصـوّرًا مبـدئيًا للصـنف `MyTreeMap`، وتركنـا للقـارئ مهمـة إكمـال توابعـه. وسنُكملها الآنَ معًا، ولْنبدأ بالتابع `findNode`:

```
private Node findNode(Object target) {
    // بعض التنفيذات تعد null مفتاحًا ولكن ليس في هذه الحالة
    if (target == null) {
            throw new IllegalArgumentException();
    }

    // هذا ما يُسعد المُصرِّف
    @SuppressWarnings("unchecked")
    Comparable<? super K> k = (Comparable<? super K>) target;

    // البحث الحقيقي
    Node node = root;
    while (node != null) {
        int cmp = k.compareTo(node.key);
        if (cmp < 0)
```

```
            node = node.left;
        else if (cmp > 0)
            node = node.right;
        else
            return node;
    }
    return null;
}
```

يَستخدِم التابعـان `containsKey` و `get` التـابعَ `findNode`، ولأنـه ليس جـزءًا من الواجهـة `Map`، عرَّفنـاه باستخدام المُعدّل `private`. يُمثِل المعامل `target` المفتاحَ الذي نبحث عنه. كنا قـد شـرحنا الجـزء الأول من هذا التابع في الفصل المشار إليه:

- لا تُعدّ `null` قيمةً صالحةً كمفتاحٍ في هذا التنفيذ.
- ينبغي أن نحـوِّلَ نـوعَ المعامـلِ `target` إلى `Comparable` قبـل أن نَسـتدعِيَ تابعَـه `compareTo`. اِستخدَمنا أكثر أنواع محارف البدل عمومية، حيث يَعمَل مع أي نـوع يُنفِّذ الواجهـة `Comparable`، كمـا أن تابعه `compareTo` يَستقبِل النوع `K` أو أيًّا من أنواعه الأعلى supertype.

يُجرَى البحث على النحو التالي: نضـبط متغـير الحلقـة `node` إلى عقـدة الجـذر، وفي كـلّ تكـرارٍ، نـوازن بين المفتاح `target` وقيمة `node.key`. إذا كان `target` أصغرَ من مفتاح العقدة الحاليّة، سننتقل إلى عقدة الابن اليسرى، أما إذا كان أكبرَ منه، سننتقل إلى عقدة الابن اليمنى، وإذا كانا متساويين، سنعيد العقدة الحاليّة.

إذا وصلنا إلى قاع الشجرة دون أن نعثر على المفتاح المطلوب، فهذا يَعنِي أنه غير موجود فيها، وسـنعيد في تلك الحالة القيمة الفارغة `null`.

13.2 البحث عن القيم values

كما أوضحنا في نفس الفصل المشار إليها في الأعلى، يتناسـب زمن تنفيـذ التـابع `findNode` مـع ارتفـاع الشجرة وليس مع عدد العقد الموجودة فيها؛ وذلك لأننا غير مضطرّين للبحث في كامل الشـجرة، ولكن بالنسـبة للتابع `containsValue`، فإننا سنضطرّ للبحث بالقيم وليس المفـاتيح، ولأن خاصـية BST لا تُطبَّق على القيم، فإننا سنضطرّ إلى البحث في كامل الشجرة.

يَستخدِم الحلُّ التالي التعاود recursion:

```
public boolean containsValue(Object target) {
    return containsValueHelper(root, target);
}
```

```
private boolean containsValueHelper(Node node, Object target) {
    if (node == null) {
        return false;
    }
    if (equals(target, node.value)) {
        return true;
    }
    if (containsValueHelper(node.left, target)) {
        return true;
    }
    if (containsValueHelper(node.right, target)) {
        return true;
    }
    return false;
}
```

يَستقبِل التابعُ `containsValue` المعاملَ `target`، ويُمرِّره مع معاملٍ إضافيٍّ يحتـوي على عقـدة الجـذر إلى التابع `containsValueHelper`.

يَعمَل التابع `containsValueHelper` وفقًا لما يلي:

- تفحص تعليمة `if` الأولى الحالة الأساسية للتعاود: إذا كانت قيمة `node` مساويةً للقيمة الفارغة `null`، فإن التابع وصل إلى قاع الشجرة دون إيجاد القيمـة المطلوبـة `target`، ويعيـد عنـدها القيمـة `false`. انتبه، يعني ذلك أن القيمة `target` غير موجودةٍ في واحدٍ فقط من مسـارات الشـجرة لا في مسـارات الشجرة كلّها، ولذا ما يزال من الممكن العثور عليها في مسارٍ آخر.
- تفحص تعليمة `if` الثانية ما إذا كان التابع قد وجد القيمة المطلوبة، وفي تلك الحالة، يعيد التابع القيمة `true`، أما إذا لم يجدها، فإنه يستمر في البحث.
- تَستدعِي الحالة الشرطية الثالثة التابعَ تعاوديًـا لكي يبحث عن نفس القيمـة، أي `target`، في الشـجرة الفرعية اليسرى. إذا وجدها فيها، فإنـه يعيـد القيمـة `true` مباشـرةً دون أن يحـاول البحث في الشـجرة الفرعية اليمنى، أما إذا لم يجدها فيها، فإنه يستمر في البحث.
- تبحث الحالة الشرطية الرابعة عن القيمة المطلوبة في الشـجرة الفرعيـة اليمـنى. إذا وجـدها فيهـا، فإنـه يعيد القيمة `true`، أما إذا لم يجدها، فإنه يعيد القيمة `false`.

يمرّ التابع السابق عبر كل عقدةٍ من الشجرة، ولهذا، يَستغرِق زمنًا يتناسب مع عدد العقد.

13.3 تنفيذ التابع put

يُعدّ التابع `put` أعقد قليلاً من التابع `get`؛ لأن عليه أن يتعامل مع حالتين: الأولى عندما يكون المفتاح المُعطَى موجودًا في الشجرة بالفعل، وينبغي عندها أن يَستبدِله ويعيد القيمة القديمة، والثانية عندما لا يكون موجودًا، وعندها ينبغي أن يُنشِئ عقدةً جديدةً ثم يضعها في المكان الصحيح.

كنا قد وفّرنا الشيفرة المبدئية التالية لذلك التابع في الفصل المذكور:

```
public V put(K key, V value) {
    if (key == null) {
        throw new IllegalArgumentException();
    }
    if (root == null) {
        root = new Node(key, value);
        size++;
        return null;
    }
    return putHelper(root, key, value);
}
```

وكان المطلوب هو إكمال متن التابع `putHelper`. انظر إلى شيفرته فيما يلي:

```
private V putHelper(Node node, K key, V value) {
    Comparable<? super K> k = (Comparable<? super K>) key;
    int cmp = k.compareTo(node.key);

    if (cmp < 0) {
        if (node.left == null) {
            node.left = new Node(key, value);
            size++;
            return null;
        } else {
            return putHelper(node.left, key, value);
        }
    }
    if (cmp > 0) {
        if (node.right == null) {
            node.right = new Node(key, value);
```

```
                size++;
                return null;
            } else {
                return putHelper(node.right, key, value);
            }
        }
        V oldValue = node.value;
        node.value = value;
        return oldValue;
    }
```

يُضبَط المعاملُ الأوّلُ `node` مبدئيًا إلى عقدة الجذر root، وفي كل مرةٍ نَستدعِي فيها التـابع تعاوديًّا، يشـير المعامل إلى شجرةٍ فرعيّةٍ مختلفةٍ. مثل التابع `get`، إستخدَمنا التابع `compareTo` لتحديد المسار الذي سـنتبعه في الشجرة. إذا تحقّق الشرط `cmp < 0`، يكون المفتاح المطلوب إضافته أقلّ من `node.key`، وعندها يكـون علينا فحص الشجرة الفرعية اليسرى. هنالك حالتان:

- إذا كانت الشجرةُ الفرعيّةُ فارغةً، فإن `node.left` تحتوي على `null`، وعندها نكون قد وصلنا إلى قـاع الشجرة دون أن نعثر على المفتاح `key`. في تلك الحالة، نكون قد تأكّدنا من أن المفتاح `key` غير موجـود في الشجرة، وعرفنا المكان الذي ينبغي أن نضيف المفتاح إليه، ولذلك، نُنشِئ عقـدةً جديـدةً، ونضـيفها كعقدةٍ ابنةٍ يسرى للعقدة `node`.
- إن لم تكن الشجرة فارغةً، نَستدعِي التابع تعاوديًّا للبحث في الشجرة الفرعية اليسرى.

في المقابل، إذا تحقّق الشرط `cmp > 0`، يكون المفتاح المطلوب إضافته أكـبر من `node.key`، وعنـدها يكون علينا فحص الشجرة الفرعية اليمنى، وسيكون علينا معالجـة نفس الحـالتين السـابقتين. أخـيرًا، إذا تحقّـق الشـرط `cmp == 0`، نكـون قـد عثرنـا على المفتـاح داخـل الشـجرة، وعنـدها، نسـتطيع أن نسـتبدله ونعيد القيمة القديمة.

كتبنا هذا التابع تعاوديًّا لكي نُسـهِّل من قراءتـه، ولكن يُمكِن كتابتـه أيضًـا بأسـلوبٍ تكـراريٍّ. يُمكِنـك القيـام بذلك كتمرين.

13.4 التنقل بالترتيب In-order

كنا قد طلبنا منك كتابة التابع `keySet` لكي يعيد مجموعةً من النوع `Set` تحتوي على مفاتيح الشجرة مُرتَّبة تصاعديًّا. لا يعيد هذا التابع في التنفيذات الأخـرى من الواجهـة `Map` المفـاتيح وفقًـا لأيّ تـرتيب، ولكن لأن هـذا التنفيذَ يتمتع بالبساطة والكفاءة، فإنه يَسمَح لنا بترتيب المفاتيح، وعلينا أن نَستفيد من ذلك.

انظر إلى شيفرة التابع فيما يلي:

```
public Set<K> keySet() {
    Set<K> set = new LinkedHashSet<K>();
    addInOrder(root, set);
    return set;
}

private void addInOrder(Node node, Set<K> set) {
    if (node == null) return;
    addInOrder(node.left, set);
    set.add(node.key);
    addInOrder(node.right, set);
}
```

كما ترى فقد أنشأنا قيمةً من النوع `LinkedHashSet` في التابع `keySet`. يُنفِّذ ذلك النوع الواجهة `Set` ويحافظ على ترتيب العناصر (بخلاف معظم تنفيذات تلك الواجهة). نَستدعِي بعد ذلك التابع `addInOrder` للتنقل في الشجرة.

يشير المعامل الأول `node` مبدئيًّا إلى جذر الشجرة، ونَستخدِمه -كما يُفترَض أن تتوقَّع- للتنقل في الشجرة تعاوديًا. يجتاز التابع `addInOrder` الشجرة بأسلوب "في الترتيب" المعروف.

إذا كانت العقدة `node` فارغةً، يَعنِي ذلك أن الشجرةَ الفرعيةَ فارغةٌ، وعندها يعود التابع دون إضافة أيّ شيءٍ إلى المجموعة `set`، أما إذا لم تكن فارغةً، نقوم بما يلي:

1. نجتاز الشجرة الفرعية اليسرى بالترتيب.
2. نضيف `node.key`.
3. نجتاز الشجرة الفرعية اليمنى بالترتيب.

تذكّر أن خاصية BST تضمن أن تكون جميع العقد الموجودة في الشجرة الفرعية اليسرى أقلَّ من `node.key` وأن تكون جميع العقد الموجودة في الشجرة الفرعية اليمنى أكبرَ منه، أي أننا نضيف `node.key` إلى الترتيب الصحيح.

بتطبيق نفس المبدأ تعاوديًا، نستنتج أن عناصر الشجرة الفرعية اليسرى واليمنى مُرتَّبة، كما أن الحالة الأساسية صحيحة: إذا كانت الشجرة الفرعية فارغةً، فإننا لا نضيف أيّة مفاتيح. يَعنِي ما سبق أن هذا التابعَ يضيف جميع المفاتيح وفقًا لترتيبها الصحيح.

ولأن هذا التابع يمرّ عبر كل عقدةٍ ضمن الشجرة مثله مثل التابع `containsValue`، فإنه يَستغرِق زمنًا يتناسب مع `n`.

13.5 التوابع اللوغاريتمية

يَستغرِق التابعان `get` و `put` في الصنف `MyTreeMap` زمنًا يتناسب مع ارتفاع الشجرة h. أوضحنا في الفصل المشار إليه أنه إذا كانت الشجرة ممتلئةً أي كان كل مستوىً منها يحتوي على الحد الأقصى من عدد العقد المسموح به، فإن ارتفاع تلك الشجرة يكون متناسبًا مع log(n).

نفترض الآن أن التابعين `get` و `set` يستغرقان زمنًا لوغاريتميًا، أي زمنًا يتناسب مع log(n)، مع أننا لا نَضمَن أن تكون الشجرة ممتلئةً دائماً. يعتمد شكل الشجرة في العموم على المفاتيح وعلى الترتيب الذي تُضاف به.

سنختبر التنفيذ الذي كتبناه بمجموعتي بيانات لكي نرى كيف يعمل. المجموعة الأولى عبارةٌ عن قائمةٍ تحتوي على سلاسلَ نصيّةٍ عشوائيّةٍ، والثانية عبارةٌ عن قائمةٍ تحتوي على علاماتٍ زمنيّةٍ timestamp مُرتَّبةٍ تصاعديًّا.

تُولِّد الشيفرةُ التاليةُ السلاسلَ النصيّة العشوائية:

```
Map<String, Integer> map = new MyTreeMap<String, Integer>();

for (int i=0; i<n; i++) {
    String uuid = UUID.randomUUID().toString();
    map.put(uuid, 0);
}
```

يقع تعريف الصنف `UUID` ضمن حزمة `java.util`، ويُمكِنه أن يُولِّد مُعرِّف هويةٍ فريدًا عموميًا universally unique identifier بأسلوبٍ عشوائي. تُعدّ تلك المُعرّفات ذاتَ فائدةٍ كبيرةٍ في مختلِف أنواع التطبيقات، ولكننا سنَستخدِمها في هذا المثال كطريقةٍ سهلةٍ لتوليد سلاسلَ نصيّةٍ عشوائيّةٍ.

شغّلنا الشيفرة التالية مع `n=16384` وحسبنا زمن التنفيذ وارتفاع الشجرةِ النهائيّ، وحصلنا على الخرج التالي:

```
Time in milliseconds = 151
Final size of MyTreeMap = 16384
log base 2 of size of MyTreeMap = 14.0
Final height of MyTreeMap = 33
```

أضفنا أيضًا قيمة اللوغاريتم للأساس 2 إلى الخريطة لكي نرى طول الشجرة إذا كانت ممتلئة. تشير النتيجة إلى أن شجرةً ممتلئةً بارتفاعٍ يساوي 14 تحتوي على 16,384 عقدة.

في الواقع، ارتفاع شجرة السلاسل النصية العشوائية الفعلي هو 33، وهو أكبر من الحد الأدنى النظـري ولكن ليس بشكل كبير. لكي نعثر على مفتاحٍ ضمن تجميعةٍ مكونةٍ من 16,384 عقدةً، سنضطرّ لإجـراء 33 موازنـةً، أي أسر ع بـ500 مرةً تقريبًا من البحث الخطي linear search.

يُعدّ هذا الأداء نموذجيًا للسلاسل النصيّة العشوائيّة والمفاتيح الأخرى التي لا تضـاف وفقًـا لأيّ تـرتيب. رغم أن ارتفاع الشجرة النهائيّ يصل إلى ضعف الحدّ النظريّ الأدنى أو ثلاثةِ أضعافِه، فهو ما يزال متناسبًا مع log(n)، أي أقل بكثير من n، حيث تنمو قيمة log(n) ببطءٍ مع زيـادة قيمـة n لدرجـةٍ يَصـعُب معهـا التميـيز بين الـزمن الثابت والزمن اللوغاريتمي عمليًا.

في المقابل، لا تَعمَل أشجار البحث الثنائية بهذه الكفاءة دائمًا. لـنرى مـا قـد يحـدث عنـد إضـافة المفـاتيح بترتيبٍ تصاعديٍّ. يَستخدِم المثال التالي علاماتٍ زمنيةً -بوحدة النانو ثانية- كمفاتيح:

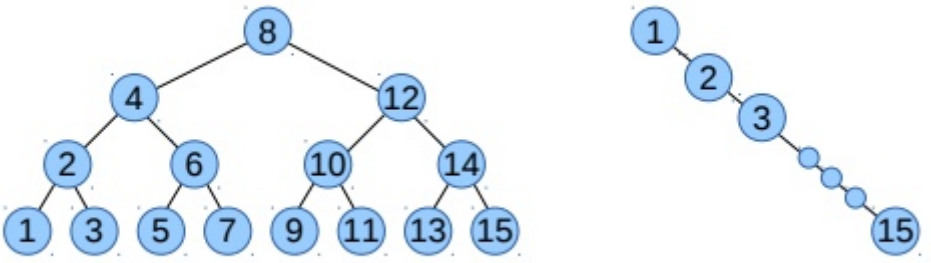
```
MyTreeMap<String, Integer> map = new MyTreeMap<String, Integer>();

for (int i=0; i<n; i++) {
    String timestamp = Long.toString(System.nanoTime());
    map.put(timestamp, 0);
}
```

يعيد `System.nanoTime` عددًا صحيحًا من النوع `long` يشير إلى الـزمن المُنقضِـي بوحـدة النـانو ثانيـة. نحصل على عددٍ أكبرَ قليلًا في كلّ مرةٍ نَستدعيه فيها. عندما نُحـوِّل تلـك العلامـات الزمنيـة إلى سلاسـلَ نصـيّةٍ، فإنها تكون مُرتَّبة أبجديًّا.

لنرى ما نحصل عليه عند التشغيل:

```
Time in milliseconds = 1158
Final size of MyTreeMap = 16384
log base 2 of size of MyTreeMap = 14.0
Final height of MyTreeMap = 16384
```

يتجاوز زمن التشغيل في هذه الحالة سبعةَ أضعاف زمن التشغيل في الحالة السـابقة. إذا كنت تتسـاءل عن السبب، فألق نظرةً على ارتفاع الشجرةِ النهائيّ 16384.



إذا أمعنت النظر في الطريقة التي يَعمَل بها التابع `put`، فقد تفهم ما يحدث: ففي كل مرةٍ نضيف فيها مفتاحًا جديدًا، فإنه يكون أكبر من جميع المفاتيح الموجودة في الشجرة، وبالتالي، نضطرّ دائمًا لاختيار الشجرة الفرعية اليمنى، ونضيف دائمًا العقدة الجديدة كعقدة ابن يمنى للعقدة الواقعة على أقصى اليمين. نحصل بذلك على شجرة غير متزنة unbalanced تحتوي على عقدٍ أبناء يمنى فقط.

يتناسب ارتفاع تلك الشجرة مع n وليس log(n)، ولذلك يصبح أداء التابعين `get` و `set` خطيًا لا لوغاريتميًا.

تَعرِض الصورة السابقة مثالًا عن شجرتين إحداهما متزنة والأخرى غير متزنة. يُمكِننا أن نرى أن ارتفاع الشجرة المتزنة يساوي 4 وعدد العقد الكلية يساوي 2^4-1 أي 15. تحتوي الشجرة غير المتزنة على نفس عدد العقد، ولكن ارتفاعها يساوي 15.

13.6 الأشجار المتزنة ذاتيا Self-balancing trees

هناك حلّان محتملان لتلك المشكلة:

- يُمكِننا أن نتجنّب إضافة المفاتيح إلى الخريطة بالترتيب، ولكن هذا الحل ليس ممكنًا دائمًا.
- يُمكِننا أن نُنشِئ شجرةً قادرةً على التعامل مع المفاتيح المرتّبة تعاملًا أفضل.

يبدو الحل الثاني أفضل، وتتوفّر طرائقُ عديدةٌ لتنفيذه. يُمكِننا مثلًا أن نُعدّل التابع `put` لكي نجعله يفحص ما إذا كانت الشجرة قد أصبحت غير متزنة، وعندها، يعيد ترتيب العقد. يُطلَق على الأشجار التي تتميز بتلك المقدرة اسم "الأشجار المتزنة ذاتيًا"، ومن أشهرها شجرة AVL (اختصار Adelson-Velskii Tree حيث إن Adelson و Velskii هما مبتكرا هذه الشجرة)، وشجرة red-black التي يَستخدِمها صنف الجافا `TreeMap`.

إذا استخدمنا الصنف `TreeMap` بدلًا من الصنف `MyTreeMap` في الشيفرة السابقة، سيصبح زمن تشغيل مثالِ السلاسل النصية ومثالِ العلامات الزمنية هو نفسه، بل في الحقيقة، سيكون مثال العلامات الزمنية أسرع على الرغم من أن المفاتيح مُرتَّبة؛ لأنه يَستغرِق وقتًا أقل لحساب شيفرة التعمية hash.

نستخلص مما سبق أن أشجار البحث الثنائية قادرةٌ على تنفيذ التابعين `get` و `put` بزمن لوغاريتمي بشـرط إضافة المفاتيح إليها وفقًا لترتيبٍ يحافظ على اتزانها بشكلٍ كافٍ. في المقابل، تتجنَّب الأشجار المتزنة ذاتيًا تلك المشكلة بإنجاز بعض العمل الإضافي في كلّ مرةٍ يُضاف فيها مفتاح جديد.

يُمكِنك قراءة المزيد عن الأشجار المتزنة ذاتيًّا.

13.7 تمرين إضافي

لم نُنفِّذ التابع `remove` في ذاك التمرين، ولكن يُمكِنك أن تُجـرِّب كتابتـه الآن. إذا حـذفت عقـدةً من وسـط الشجرة، ستضطرّ إلى إعادة ترتيب العقد المتبقية لكي تحافظ على خاصية BST. ربما بإمكانك التفكير في طريقة إنجاز ذلك أو الاطّلاع على الرابط (باللغة الإنجليزية).

تُعدّ عمليتا حذف عقدةٍ وإعادة الشجرة إلى الاتزان عمليتين متشابهتين، لذا إذا أتممت هذا التمرين، ستفهم طريقة عمل الأشجار المتزنة ذاتيًا فهمًا أعمق.

دورة تطوير التطبيقات
باستخدام لغة بايثون

احترف البرمجة وتطوير التطبيقات مع أكاديمية حسوب
والتحق بسوق العمل فور انتهائك من الدورة

التحق بالدورة الآن

14. حفظ البيانات عبر Redis

سنُكمِل في التمارين القليلة القادمة بناء محرك البحث الذي تحدثنا عنه في الفصل السادس التنقل في الشجرة. يتكوَّن أيّ محرك بحثٍ من الوظائف التالية:

- الزحف crawling: ويُنفّذُ من خلال برنامجٍ بإمكانه تحميلُ صفحة إنترنت وتحليلُها واستخراجُ النص وأيِّ روابط إلى صفحاتٍ أخرى.
- الفهرسة indexing: وتنفّذُ من خلال هيكل بيانات data structure بإمكانه البحث عن كلمة والعثور على الصفحات التي تحتوي على تلك الكلمة.
- الاسترجاع retrieval: وهي طريقةٌ لتجميع نتائج المُفهرِس واختيار الصفحات الأكثر صلة بكلمات البحث.

إذا كنت قد أتممت تمرين الفصل الثامن المفهرس Indexer، فقد نفَّذت مُفهرسًا بالفعل باستخدام خرائط جافا. سنناقش هذا التمرين هنا وسنُنشِئ نسخةً جديدةً تُخزِّن النتائج في قاعدة بيانات.

وإذا كنت قد أكملت تمرين الفصل السابع كل الطرق تؤدي إلى روما، فقد نفَّذت بالفعل زاحفًا يَتبِع أول رابطٍ يعثرُ عليه. سنُنشِئ في التمرين التالي نسخةً أعمّ تُخزِّن كل رابطٍ تجده في رتل queue، وتتبع تلك الروابط بالترتيب.

في النهاية، ستُكلّف بالعمل على برنامج الاسترجاع.

سنُوفِّر شيفرةً مبدئيّةً أقصر في هذه التمارين، وسنعطيك فرصةً أكبر لاتخاذ القرارات المتعلقة بالتصميم. وتجدر الإشارة إلى أن هذه التمارين ذات نهايات مفتوحة، أي سنطرح عليك فقط بعض الأهداف البسيطة التي يتعين عليك الوصول إليها، ولكنك تستطيع بالطبع المُضِي قدمًا إذا أردت المزيد من التحدي.

والآن، سنبدأ بالنسخة الجديدة من المُفهرِس.

14.1 قاعدة بيانات Redis

تُخزِّن النسخة السابقة من المُفهرِس البيانات في هيكلَيْ بياناتٍ: الأول هو كائنٌ من النـوع `TermCounter` يَربُط كل كلمة بحثٍ بعدد المرات التي ظهرت فيها الكلمة في صـفحة إنـترنت معينـةٍ، والثـاني كـائنٌ من النـوع `Index` يربُط كلمة البحث بمجموعة الصفحات التي ظهرت فيها.

يُخزَّن هيكلا البيانات في ذاكرة التطبيق، ولذا يتلاشيان بمجرد انتهاء البرنامج. توصـف البيانـات الـتي تُخـزَّن فقط في ذاكرة التطبيق بأنها "متطايرة volatile"؛ لأنها تزول بمجرد انتهاء البرنامج.

في المقابـل، تُوصـف البيانـات الـتي تظـل موجـودةً بعـد انتهـاء البرنـامج الـذي أنشـأها بأنهـا "مسـتمرة persistent". مثال ذلك الملفات المُخزَّنة في نظام الملفات فهي مُستمرة في العموم، وكذلك البيانات المُخزَّنة في قاعدة بيانات أيضًا مستمرة.

يُعدّ تخزين البيانات في ملف واحـدة من أبسـط طـرق حفـظ البيانـات، فيُمكِننـا ببسـاطة أن نحـوِّل هياكـل البيانات المُتضمِّنة للبيانات إلى صيغة JSON ثم نكتبها إلى ملف قبل انتهاء البرنامج. عندما نُشغِّل البرنامج مـرة أخرى، سنتمكَّن من قراءة الملف وإعادة بناء هياكل البيانات.

ولكن هناك مشكلتان في هذا الحل:

1. عادةً ما تكون عمليتا قراءة هياكل البيانات الضخمة (مثل مفهرس الويب) وكتابتها عمليتين بطيئتين.
2. قد لا تستوعب مساحة ذاكرة برنامج واحد هيكل البيانات بأكمله.
3. إذا انتهى برنامجٌ معينٌ على نحوٍ غير متوقع (نتيجة لانقطاع الكهرباء مثلًا)، سنفقد جميع التغييرات التي أجريناها على البيانات منذ آخر مرة فتحنا فيها البرنامج.

وهناك طريقة أخرى لحفظ البيانات وهي قواعد البيانات. إذ تُعدّ قواعدُ البيانات البديلَ الأفضـلَ، فهي تُـوفِّر مساحةَ تخزينٍ مستمرةً، كما أنها قادرةٌ على قراءة جزءٍ من قاعدة البيانات أو كتابته دون الحاجـة إلى قـراءة قاعـدة البيانات أو كتابتها بالكامل.

تتوفَّر الكثير من أنواع نظم إدارة قواعد البيانات DBMS، ويتمتع كلٌّ منها بإمكانيات مختلفة. ويُمكِنك قـراءة مقارنة بين أنظمة إدارة قواعد البيانات العلاقية والاطلاع على سلسلة تصميم قواعد البيانات.

تُوفِّر قاعدة بيانات Redis -التي سنَستخدِمها في هـذا التمـرين- هياكـل بيانـات مسـتمرة مشـابهةً لهياكـل البيانات التي تُوفِّرها جافا، فهي تُوفِّر:

- قائمة سلاسل نصية مشابهة للنوع `List`.
- جداول مشابهة للنوع `Map`.

- مجموعات من السلاسل النصية مشابهة للنوع `Set`.

تُعدّ Redis قاعدة بيانات من نوع زوج مفتاح/قيمة، ويَعني ذلك أن هياكل البيانات (القيم) التي تُخزِّنها تكون مُعرَّفةً بواسطة سلاسل نصية فريدة (مفاتيح). تلعب المفاتيح في قاعدة بيانات Redis نفس الدور الذي تلعبه المراجع references في لغة جافا، أي أنّها تُعرِّف هوية الكائنات. سنرى أمثلةً على ذلك لاحقًا.

14.2 خوادم وعملاء Redis

عادةً ما تَعمَل قاعدة بيانات Redis كخدمةٍ عن بعد، فكلمة Redis هي في الحقيقة اختصار لعبارة "خادم قاموس عن بعد REmote DIctionary Server"، ولنتمكن من استخدامها، علينا أن نُشغِّل خادم Redis في مكانٍ ما ثم نَتصِل به عبر عميل Redis. من الممكن إعداد ذلك الخادم بأكثرَ من طريقةٍ، كما يُمكِننا الاختيار من بين العديد من برامج العملاء، وسنَستخدِم في هذا التمرين ما يلي:

1. بدلًا من أن نُثبِّت الخادم ونُشغِّله بأنفسنا، سنَستخدِم خدمةً مثل RedisToGo. تُشغِّل تلك الخدمة قاعدة بيانات Redis على السحابة cloud، وتُقدِّم خطةً مجانيةً بمواردَ تتناسب مع متطلبات هذا التمرين.
2. بالنسبة للعميل، سنَستخدِم Jedis، وهو عبارةٌ عن مكتبة جافا تحتوي على أصنافٍ وتوابعَ يُمكِنها العمل مع قاعدة بيانات Redis.

انظر إلى التعليمات المُفصَّلة التالية لمساعدتك على البدء:

- أنشِئ حسابًا على موقع RedisToGo، واختر الخطة التي تريدها (ربما الخطة المجانية).
- أنشِئ نسخة آلة افتراضية يعمل عليها خادم Redis. إذا نقرت على تبويب "Instances"، ستجد أن النسخة الجديدة مُعرَّفة باسم استضافة ورقم منفذ. كان اسم النسخة الخاصة بنا مثلًا هو dory-10534.
- انقر على اسم النسخة لكي تفتح صفحة الإعدادات، وسجِّل اسم مُحدّد الموارد الموحد URL الموجود أعلى الصفحة. سيكون مشابهًا لما يلي:

```
redis://redistogo:1234567feedfacebeefa1e1234567@dory.redistogo.com:10534
```

يحتوي محدد الموارد الموحد السابق ذكره على اسم الاستضافة الخاص بالخادم `dory.redistogo.com`، ورقم المنفذ 10534، وكلمة المرور التي سنحتاج إليها للاتصال بالخادم، وهي السلسلة النصية الطويلة المُكوَّنة من أحرف وأعدادٍ في المنتصف. ستحتاج تلك المعلومات في الخطوة التالية.

14.3 إنشاء مفهرس يعتمد على Redis

ستجد الملفات التالية الخاصة بالتمرين في مستودع الكتاب:

- `JedisMaker.java`: يحتـوي على بعض الأمثلـة على الاتصـال بخـادم Redis وتشـغيل بعض توابـع Jedis.
- `JedisIndex.java`: يحتوي على شيفرةٍ مبدئيةٍ لهذا التمرين.
- `JedisIndexTest.java`: يحتوي على اختبارات للصنف `JedisIndex`.
- `WikiFetcher.java`: يحتوي على شيفرةٍ تقرأ صـفحات إنـترنت وتُحلِّلهـا باسـتخدام مكتبـة jsoup. كتبنا تلك الشيفرة في تمارين الفصول المشار إليها بالأعلى.

ستجد أيضًا الملفات التالية التي كتبناها في نفس تلك التمارين:

- `Index.java`: يُنفِّذ مفهرِسًا باستخدام هياكل بيانات تُوفِّرها جافا.
- `TermCounter.java`: يُمثِل خريطةً تربُط كلمات البحث بعدد مرات حدوثها.
- `WikiNodeIterable.java`: يمرّ عبر عقد شجرة DOM الناتجة من مكتبة jsoup.

إذا تمكَّنت من كتابة نسخك الخاصة من تلك الملفـات، يُمكِنـك اسـتخدامها لهـذا التمـرين. إذا لم تكن قـد أكملت تلك التمارين أو أكملتها ولكنك غير متأكّد ممـا إذا كـانت تَعمَـل على النحـو الصـحيح، يُمكِنـك أن تَنسَـخ الحلول من مجلد solutions.

والآن، ستكون خطوتك الأولى هي استخدام عميل Jedis للاتصال بخادم Redis الخاص بك. يُوضِّح الصـنف `RedisMaker.java` طريقة القيام بذلك: عليه أولًا أن يقرأ معلومات الخادم من ملفٍّ، ثم يتصـل بـه، ويُسـجِل دخوله باستخدام كلمة المرور، وأخيرًا، يُعيد كائنًا من النوع `Jedis` الذي يُمكِن استخدامه لتنفيذ عمليات Redis.

سـتجد الصـنف `JedisMaker` مُعرَّفًـا في الملـف `JedisMaker.java`. يَعمَـل ذلـك الصـنف كصـنف مساعد حيث يحتوي على التابع الساكن `make` الذي يُنشِـئ كائنًـا من النـوع `Jedis`. يُمكِنـك أن تَسـتخدِم ذلـك الكائن بعد التصديق عليه للاتصال بقاعدة بيانات Redis الخاصة بك.

يقرأ الصنف `JedisMaker` بيانات خـادم Redis من ملـفٍّ اسـمه `redis_url.txt` موجـودٍ في المجلـد `src/resources`:

- استخدم مُحرّرَ نصوصٍ لإنشاء وتعديل الملف التالي:

```
ThinkDataStructures/code/src/resources/redis_url.txt.
```

- ضع فيه مُحدّد موارد الخادم الخاص بك. إذا كنت تَستخدِم خدمة RedisToGo، سيكون محـدد المـوارد مشابهًا لما يلي:

```
redis://
redistogo:1234567feedfacebeefa1e1234567@dory.redistogo.com:10534
```

لا تضع هذا الملف في مجلدٍ عامٍّ لأنه يحتوي على كلمة مـرور خـادم Redis. يُمكِنـك تجنُّب وقـوع ذلـك عن طريق الخطأ باستخدام الملف gitignore. الموجود في مستودع الكتاب لمنع وضع الملف فيه.

نفِّذ الأمر `ant build` لتصريف ملفات الشيفرة والأمر `ant JedisMaker` لتشغيل المثال التوضـيحيّ بالتابع `main`:

```
    public static void main(String[] args) {
        Jedis jedis = make();

        // String
        jedis.set("mykey", "myvalue");
        String value = jedis.get("mykey");
        System.out.println("Got value: " + value);

        // Set
        jedis.sadd("myset", "element1", "element2", "element3");
        System.out.println("element2 is member: " +
                           jedis.sismember("myset", "element2"));

        // List
        jedis.rpush("mylist", "element1", "element2", "element3");
        System.out.println("element at index 1: " +
                           jedis.lindex("mylist", 1));

        // Hash
        jedis.hset("myhash", "word1", Integer.toString(2));
        jedis.hincrBy("myhash", "word2", 1);
        System.out.println("frequency of word1: " +
                           jedis.hget("myhash", "word1"));
        System.out.println("frequency of word1: " +
                            jedis.hget("myhash", "word2"));

        jedis.close();
    }
```

يَعرِض المثال أنواع البيانات والتوابع التي ستحتاج إليها غالبًا في هذا التمرين. ينبغي أن تحصل على الخرج التالي عند تشغيله:

```
Got value: myvalue
element2 is member: true
element at index 1: element2
frequency of word1: 2
frequency of word2: 1
```

سنشرح طريقة عمل تلك الشيفرة في القسم التالي.

14.4 أنواع البيانات في قاعدة بيانات Redis

تَعمَل Redis كخريطةٍ تربط مفاتيحَ (سلاسل نصيّة) بقيم. قد تنتمي تلك القيم إلى مجموعة أنواع مختلفة من البيانات. يُعدّ النوع string واحدًا من أبسط الأنواع التي تُوفِّرها قاعدة بيانات Redis. لاحظ أننا سنكتب أنواع بيانات Redis بخطوط مائلة لنُميزها عن أنواع جافا.

سنَستخدِم التابع `jedis.set` لإضافة سلسلةٍ نصيّةٍ من النوع string إلى قاعدة البيانات. قد تجد ذلك مألوفًا، فهو يشبه التابع `Map.put`، حيث تُمثِّل المعاملات المُمرَّرة المفتاح الجديد وقيمته المقابلة. في المقابل، يُستخدَم التابع `jedis.get` للبحث عن مفتاحٍ معينٍ والعثور على قيمته. انظر الشيفرة إلى التالية:

```
        jedis.set("mykey", "myvalue");
        String value = jedis.get("mykey");
```

كان المفتاح هو `"mykey"` والقيمة هي `"myvalue"` في هذا المثال.

تُوفِّر Redis هيكل البيانات *set* الذي يَعمَل بشكلٍ مشابهٍ للنوع `Set<String>` في جافا. إذا أردت أن تضيف عنصرًا جديدًا إلى مجموعةٍ من النوع *set*، اختر مفتاحًا يُحدّد هوية تلك المجموعة، ثم إستخدِم التابع `jedis.sadd` كما يلي:

```
        jedis.sadd("myset", "element1", "element2", "element3");
        boolean flag = jedis.sismember("myset", "element2");
```

لاحِظ أنه ليس من الضروري إنشاء المجموعة بخطوةٍ منفصلةٍ، حيث تُنشؤها Redis إن لم تكن موجودةً. تُنشِئ Redis في هذا المثال مجموعةً من النوع *set* اسمها `myset` تحتوي على ثلاثة عناصر.

يفحص التابع `jedis.sismember` ما إذا كان عنصر معين موجودًا في مجموعة من النوع *set*. تَستغرِق عمليتا إضافة العناصر وفحص عضويّتها زمنًا ثابتًا.

تُـوفِّر Redis أيضًـا هيكـل البيانـات list الـذي يشـبه النـوع `List<String>` في جافـا. يضـيف التـابع `jedis.rpush` العناصر إلى النهاية اليمنى من القائمة، كما يلي:

```
        jedis.rpush("mylist", "element1", "element2", "element3");
        String element = jedis.lindex("mylist", 1);
```

مثلما سبق، لا يُعدّ إنشاء هيكل البيانات قبل إضافة العناصر إليه أمرًا ضروريًا. يُنشِئ هذا المثـال قائمـةً من النوع *list* اسمها `mylist` تحتوي على ثلاثة عناصر.

يَستقبِل التابع `jedis.lindex` فهرسًـا هـو عبـارةٌ عن عـددٍ صـحيحٍ، ويعيـد عنصـرَ القائمـةِ المشـارَ إليـه. تَستغرِق عمليتا إضافة العناصر واسترجاعها زمنًا ثابتًا.

أخيرًا، تُوفِّر Redis الهيكل *hash* الذي يشـبه النـوع `Map<String, String>` في جافـا. يضـيف التـابع `jedis.hset` مُدخَلًا جديدًا إلى الجدول على النحو التالي:

```
        jedis.hset("myhash", "word1", Integer.toString(2));
        String value = jedis.hget("myhash", "word1");
```

يُنشِئ هذا المثال جدولًا جديدًا اسمه `myhash` يحتوي على مدخلٍ واحدٍ يربُط المفتاح `word1` بالقيمة `"2"`.

تنتمي المفاتيح والقيم إلى النوع *string*، ولذلك، إذا أردنا أن نُخزِّن عددًا صحيحًا من النوع `Integer`، علينا أن نُحوِّله أولًا إلى النوع `String` قبل أن نَستدعِي التابع `hset`. وبالمثل، عندما نبحث عن قيمة باستخدام التابع `hget`، ستكون النتيجة من النوع `String`، ولذلك، قد نضطرّ إلى تحويلها مرةً أخرى إلى النوع `Integer`.

قد يكون العمل مع النوع *hash* في قاعـدة بيانـات Redis مربكًـا نوعًـا مـا؛ لأننـا نَسـتخدِم مفتـاحين، الأول لتحديد الجدول الذي نريده، والثاني لتحديد القيمة الـتي نريـدها من الجـدول. في سـياق قاعـدة بيانـات Redis، يُطلَق على المفتاح الثاني اسم "الحقل field"، أي يشير مفتاح مثل `myhash` إلى جدولٍ معينٍ من النــوع *hash* بينما يشير حقلٌ مثل `word1` إلى قيمةٍ ضمن ذلك الجدول.

عادةً ما تكون القيم المُخزَّنة في جـداول من النـوع *hash* أعـدادًا صـحيحة، ولـذلك، يـوفِّر نظـام إدارة قاعـدة بيانـات Redis بعض التوابـع الخاصــة الــتي تعامــل القيم وكأنهــا أعــداد مثــل التــابع `hincrby`. انظــر إلى المثال التالي:

```
        jedis.hincrBy("myhash", "word2", 1);
```

يسترجع هذا التابع المفتاح `myhash`، ويحصل على القيمة الحالية المرتبطة بالحقل `word2` (أو على الصــفر إذا لم يكن الحقل موجودًا)، ثم يزيدها بمقدار 1، ويكتبها مرةً أخرى في الجدول.

تستغرق عمليات إضافة المُدْخَلات إلى جدول من النوع *hash* واسترجاعها وزيادتها زمنًا ثابتًا.

14.5 تمرين 11

بوصولك إلى هنا، أصبح لديك كل المعلومات الضرورية لإنشاء مُفهرِس قادرٍ على تخزين النتـائج في قاعـدة بيانات Redis.

والآن، نفِّذ الأمر `ant JedisIndexTest`. ستفشل بعض الاختبارات لأنه ما يزال أمامنا بعض العمل.

يختبر الصنف `JedisIndexTest` التوابع التالية:

- `JedisIndex`: يستقبل هذا الباني كائنًا من النوع `Jedis` كمعامل.
- `indexPage`: يضيف صفحة إنترنت إلى المفهرس. يَستقبِل سلسلةً نصـيّةً من النـوع `String` تُمثِـل مُحدّد مـوارد URL بالإضـافة إلى كـائن من النـوع `Elements` يحتـوي على عناصـر الصـفحة المطلـوب فهرستها.
- `getCounts`: يستقبل كلمةَ بحثٍ ويعيـد خريطـةً من النـوع `Map<String, Integer>` تربُـط كـل محدد مواردَ يحتوي على تلك الكلمة بعدد مرات ظهورها في تلك الصفحة.

يُوضِح المثال التالي طريقة استخدامِ تلك التوابع:

```
        WikiFetcher wf = new WikiFetcher();
        String url1 =

"http://en.wikipedia.org/wiki/Java_(programming_language)";
        Elements paragraphs = wf.readWikipedia(url1);

        Jedis jedis = JedisMaker.make();
        JedisIndex index = new JedisIndex(jedis);
        index.indexPage(url1, paragraphs);
        Map<String, Integer> map = index.getCounts("the");
```

إذا بحثنـا عن `url1` في الخريطـة الناتجـة `map`، ينبغي أن نحصـل على 339، وهـو عـدد مـرات ظهـور كلمة "the" في مقالة ويكيبيديا عن لغة جافا (نسخة المقالة التي خزّناها).

إذا حاولنا فهرسة الصفحة مرةً أخرى، ستحُلّ النتائج الجديدة محل النتائج القديمة.

إذا أردت تحويل هياكل البيانات من جافا إلى Redis، فتذكّر أن كـل كـائنٍ مُخـزّنٍ في قاعـدة بيانـات Redis مُعرَّفٌ بواسطة مفتاحٍ فريدٍ من النوع string. إذا كان لديك نوعان من الكائنات في نفس قاعـدة البيانـات، فقـد ترغب في إضافة كلمةٍ إلى بداية المفاتيح لتمييزها عن بعضـها. على سـبيل المثـال، لـدينا النوعـان التاليـان من الكائنات:

- يُمثِل النوع `URLSet` مجموعـةً من النـوع *set* في قاعـدة بيانـات Redis. تحتـوي تلـك المجموعـة على محددات الموارد الموحدة URL التي تحتوي على كلمةٍ بحثٍ معينة. يبدأ المفتاح الخاص بكل قيمـةٍ من النوع `URLSet` بكلمة "`URLSet:`"، وبالتالي، لكي نحصل على محددات الموارد الموحـدة الـتي تحتـوي على كلمة "`the`"، علينا أن نسترجع المجموعة التي مفتاحها هو "`URLSet:the`".
- يُمثِل النوع `TermCounter` جدولًا من النوع hash في قاعـدة بيانـات Redis. يربُـط هـذا الجـدول كـل كلمة بحث ظهرت في صفحة معيّنة بعدد مرات ظهورهـا. يبـدأ المفتـاح الخـاصُّ بكـل قيمـة من النـوع `TermCounter` بكلمة "`TermCounter:`" وينتهي بمحـدد المـوارد الموحّـدِ الخـاص بالصـفحة الـتي نبحث فيها.

يحتــوي التنفيــذ الخــاص بنــا على قيمــةٍ من النــوع `URLSet` لكــل كلمــة بحثٍ، وعلى قيمــةٍ من النــوع `TermCounter` لكل صفحة مُفهرسَة. وفَّرنـا أيضًـا التـابعين المسـاعدين `urlSetKey` و `termCounterKey` لإنشاء تلك المفاتيح.

14.6 المزيد من الاقتراحات

أصبح لديك الآن كل المعلومات الضرورية لحل التمرين، لـذا يُمكِنـك أن تبـدأ الآن إذا أردت، ولكن مـا يـزال هناك بعض الاقتراحات القليلة التي ننصحك بقراءتها:

- سنوفِّر لك مساعدةً أقلّ في هـذا التمـرين، ونـترك لـك حريّـة أكـبر في اتخـاذ بعض القـرارات المتعلقـة بالتصميم. سيكون عليك تحديدًا أن تُفكِّر بالطريقة التي ستُقسِّم بهـا المشـكلة إلى أجـزاءَ صـغيرةٍ يُمكِن اختبار كلٍّ منها على حدة. بعد ذلك، ستُجمِّع تلك الأجزاء إلى حلٍّ كاملٍ. إذا حاولت كتابـة الحـل بالكامـل على خطوةٍ واحدةٍ بدون اختبار الأجزاء الأصغر، فقد تستغرِق وقتًا طويلًا جدًا لتنقيح الأخطاء.
- تُمثِّل الاستمرارية واحدةً من تحديات العمـل مـع البيانـات المسـتمرة، لأن الهياكـل المُخزَّنـة في قواعـد البيانات قد تتغير في كل مرةٍ تُشغِّل فيها البرنامج. فإذا تسبَّبت بخطأٍ في قاعدة البيانات، سيكون عليك إصلاحه أو البدء من جديد. ولكي نُبقِي الأمـور تحت السـيطرة، وفّرنـا لـك التوابـع `deleteURLSets` و `deleteTermCounters` و `deleteAllKeys` التي تستطيع أن تَستخدِمها لتنظيف قاعدة البيانـات والبدء من جديد. يُمكِنك أيضًا استخدام التابع `printIndex` لطباعة محتويات المُفهرِس.
- في كلّ مرةٍ تستدعي فيها أيًّا من توابع `Jedis`، فإنـه يُرسِـل رسـالةً إلى الخـادم الـذي يُنفِّذ بـدوره الأمـر المطلوب، ثم يردّ برسالة. إذا نفَّذت الكثير من العمليات الصغيرة، فستحتاج إلى وقت طويل لمعالجتها، ولهـذا، من الأفضـل تجميـع متتاليـة من العمليـات ضـمن معاملـة واحـدة من النـوع `Transaction` لتحسين الأداء.

على سبيل المثال، انظر إلى تلك النسخة البسيطة من التابع `deleteAllKeys`:

```
    public void deleteAllKeys() {
        Set<String> keys = jedis.keys("*");
        for (String key: keys) {
            jedis.del(key);
        }
    }
```

في كل مرةٍ تَستدعِي خلالها التابع `del`، يضطرّ العميل إلى إجراء اتصالٍ مع الخادم وانتظار الرد. إذا كان المُفهرِس يحتوي على بضع صفحاتٍ، فقد يَستغرِق تنفيذ ذلك التابع وقتًا طويلًا. بدلًا من ذلك، يُمكِنك أن تُسرِّع تلك العملية باستخدام كائنٍ من النوع `Transaction` على النحو التالي:

```
    public void deleteAllKeys() {
        Set<String> keys = jedis.keys("*");
        Transaction t = jedis.multi();
        for (String key: keys) {
            t.del(key);
        }
        t.exec();
    }
```

يعيد التابع `jedis.multi` كائنًا من النوع `Transaction`. يُوفِّر هذا الكائن جميع التوابع المتاحة في كائنات النوع `Jedis`. عندما تستدعي أيًّا من تلك التوابع بكائنٍ من النوع `Transaction`، فإن العميل لا يُنفِّذها تلقائيًا، ولا يتصل مع الخادم، وإنما يُخزِّن تلك العمليات إلى أن تَستدعِي التابع `exec`، وعندها، يُرسِل جميعَ العملياتِ المُخزَّنة إلى الخادم في نفس الوقت، وهو ما يكون أسرع عادةً.

14.7 تلميحات بسيطة بشأن التصميم

الآن وقد أصبح لديك جميع المعلومات المطلوبة، يمكنك البدء في حل التمرين. إذا لم يكن لديك فكرةٌ عن طريقة البدء، يُمكِنك العودة لقراءة المزيد من التلميحات البسيطة.

لا تتابع القراءة قبل أن تُشغِّل شيفرة الاختبار، وتُجرِّب بعض أوامر Redis البسيطة، وتكتب بعض التوابع الموجودة في الملف `JedisIndex.java`.

إذا لم تتمكّن من متابعة الحل فعلًا، إليك بعض التوابع التي قد ترغب في العمل عليها:

```
    /**
     * أضف محدد موارد موحدًا إلى المجموعة الخاصة بكلمة
     */
```

```
    public void add(String term, TermCounter tc) {}

    /**
     * ابحث عن كلمة وأعد مجموعة مُحدِّدات الموارد الموحدة التي تحتوي عليها
     */
    public Set<String> getURLs(String term) {}

    /**
     * أعد عدد مرات ظهور كلمة معينة بمحدد موارد موحد
     */
    public Integer getCount(String url, String term) {}

    /**
     * أضف محتويات كائن من النوع `TermCounter` إلى قاعدة بيانات Redis
     */
    public List<Object> pushTermCounterToRedis(TermCounter tc) {}
```

تلك هي التوابع التي استخدمناها في الحل، ولكنها ليست بالتأكيد الطريقة الوحيدة لتقسيم المشكلة. لذلك، استعن بتلك الاقتراحات فقط إذا وجدتها مفيدة، وتجاهلها تمامًا إذا لم تجدها كذلك.

اكتب بعض الاختبارات لكل تابعٍ منها أولًا، فبمعرفة الطريقة التي ينبغي بها أن تختبر تابعًا معينًا، عادةً ما تتكوَّن لديك فكرةٌ عن طريقة كتابته.

وفقك الله!

15. الزحف على ويكيبيديا

سنُقدِّم في هذا الفصل حل تمرين الفصل السابق. بعد ذلك، سنُحلِّل أداء خوارزمية فهرسة صفحات الإنترنت، ثم سنبني زاحفَ ويب Web crawler بسيطًا.

15.1 المفهرس المبني على قاعدة بيانات Redis

سنُخزِّن هيكلي البيانات التاليين في قاعدة بيانات Redis:

- سيُقابِل كلَّ كلمة بحثٍ كائنٌ من النوع `URLSet` هو عبارةٌ عن مجموعة Set في قاعدة بيانات Redis تحتوي على مُحدِّدات الموارد الموحدة URLs التي تحتوي على تلك الكلمة.
- سيُقابِل كل مُحدّد موارد موحد كائنًا من النوع `TermCounter` يُمثّل جدول Hash في قاعدة بيانات Redis يربُط كل كلمة بحث بعدد مرات ظهورها.

يُمكِنك مراجعة أنواع البيانات التي ناقشناها في الفصل المشار إليه، كما يُمكِنك قراءة المزيد عن المجموعات والجداول بقاعدة بيانات Redis من توثيقها الرسمي.

يُعرِّف الصنف `JedisIndex` تابعًا يَستقبِل كلمة بحثٍ ويعيد مفتاح كائن الصنف `URLSet` المقابل في قاعدة بيانات Redis:

```
private String urlSetKey(String term) {
    return "URLSet:" + term;
}
```

كما يُعرِّف الصنفُ المذكور التابع termCounterKey، والذي يستقبل مُحدّد موارد موحدًا ويعيد مفتاح كائن الصنف `TermCounter` المقابل في قاعدة بيانات Redis:

```
    private String termCounterKey(String url) {
        return "TermCounter:" + url;
    }
```

يَستقبِل تابع الفهرسة `indexPage` محددَ موارد موحـدًا وكائنًـا من النـوع `Elements` يحتـوي على شـجرة DOM للفقرات التي نريد فهرستها:

```
    public void indexPage(String url, Elements paragraphs) {
        System.out.println("Indexing " + url);

        // أنشئ كائنًا من النوع TermCounter وأحصِ كلمات الفقرات النصية

        TermCounter tc = new TermCounter(url);
        tc.processElements(paragraphs);

        // أضف محتويات الكائن إلى قاعدة بيانات Redis
        pushTermCounterToRedis(tc);
    }
```

سنقوم بالتالي لكي نُفهرِّس الصفحة:

1. نُنشِئ كائنًا من النوع `TermCounter` يُمثِل محتويات الصفحة باستخدام شيفرة تمرين الفصل المشـار إليه بالأعلى.
2. نُضيف محتويات ذلك الكائن في قاعدة بيانات Redis.

تُوضِّح الشيفرة التالية طريقة إضافة كائنات النوع `TermCounter` إلى قاعدة بيانات Redis:

```
    public List<Object> pushTermCounterToRedis(TermCounter tc) {
        Transaction t = jedis.multi();

        String url = tc.getLabel();
        String hashname = termCounterKey(url);

        // إذا كانت الصفحة مفهرسة مسبقًا، احذف الجدول القديم
        t.del(hashname);



        // أضف مدخلًا جديدًا في كائن الصنف TermCounter وعنصرًا جديدًا إلى الفهرس
```

```
        // لكل كلمة بحث
        for (String term: tc.keySet()) {
            Integer count = tc.get(term);
            t.hset(hashname, term, count.toString());
            t.sadd(urlSetKey(term), url);
        }
        List<Object> res = t.exec();
        return res;
    }
```

يَستخدم هذا التابع معاملةً من النوع `Transaction` لتجميع العمليات، ثم يرسلها جميعًا إلى الخادم على خطوة واحدة. تُعدّ تلك الطريقة أسرع بكثير من إرسال متتاليةٍ من العمليات الصغيرة.

يمرّ التابع عبر العناصر الموجودة في كائن الصنف `TermCounter`، ويُنفِّذ التالي من أجل كل عنصرٍ منها:

1. يبحث عن كائنٍ من النوع `TermCounter` -أو ينشئه إن لم يجده- في قاعدة بيانات Redis، ثم يضيف حقلًا فيه يُمثِل العنصر الجديد.
2. يبحث عن كائنٍ من النوع `URLSet` -أو ينشئه إن لم يجده- في قاعدة بيانات Redis، ثم يضيف إليه محدّد الموارد الموحد الحالي.

إذا كنا قد فهرَسنا تلك الصفحة من قبل، علينا أن نحذف كائن الصنف `TermCounter` القديم الذي يمثلها قبل أن نضيف المحتويات الجديدة.

هذا هو كل ما نحتاج إليه لفهرسة الصفحات الجديدة.

طلبَ الجزءُ الثاني من التمرين كتابةَ التابع `getCounts` الذي يَستقبِل كلمة بحثٍ ويعيد خريطةً تربط محددات الموارد الموحدة التي ظهرت فيها تلك الكلمة بعدد مرات ظهورها فيها. انظر إلى تنفيذ التابع:

```
    public Map<String, Integer> getCounts(String term) {
        Map<String, Integer> map = new HashMap<String, Integer>();
        Set<String> urls = getURLs(term);
        for (String url: urls) {
            Integer count = getCount(url, term);
            map.put(url, count);
        }
        return map;
    }
```

يَستخدِم هذا التابعُ تابعين مساعدين:

- `getURLs`: يَستقبِل كلمة بحثٍ ويعيد مجموعةً من النوع `Set` تحتوي على محددات الموارد الموحدة التي ظهرت فيها الكلمة.
- `getCount`: يَستقبِل محدد موارد موحدًا URI وكلمة بحث، ويعيد عدد مرات ظهور الكلمة بمحدد الموارد المُمرَّر.

انظر تنفيذات تلك التوابع:

```
    public Set<String> getURLs(String term) {
        Set<String> set = jedis.smembers(urlSetKey(term));
        return set;
    }

    public Integer getCount(String url, String term) {
        String redisKey = termCounterKey(url);
        String count = jedis.hget(redisKey, term);
        return new Integer(count);
    }
```

تَعمَل تلك التوابع بكفاءةٍ نتيجةً للطريقة التي صمّمْنا بها المُفهرِس.

15.2 تحليل أداء عملية البحث

لنفترض أننا فهرسنا عددًا مقداره N من الصفحات، وتوصلنا إلى عددٍ مقداره M من كلمات البحث. كم الوقت الذي سيستغرقه البحث عن كلمةٍ معينةٍ؟ فكر قبل أن تكمل القراءة.

سنُنفِّذ التابع `getCounts` للبحث عن كلمةٍ، يُنفِّذ ذلك التابع ما يلي:

1. يُنشِئ خريطةً من النوع `HashMap`.
2. يُنفِّذ التابع `getURLs` ليسترجع مجموعة مُحدِّدات الموارد الموحدة.
3. يَستدعِي التابع `getCount` لكل مُحدِّد موارد، ويضيف مُدْخَلًا إلى الخريطة.

يستغرق التابع `getURLs` زمنًا يتناسب مع عدد محددات الموارد الموحدة التي تحتوي على كلمة البحث. قد يكون عددًا صغيرًا بالنسبة للكلمات النادرة، ولكنه قد يكون كبيرًا -قد يَصِل إلى N- في حالة الكلمات الشائعة.

سنُنفِّذ داخل الحلقة التابعَ `getCount` الذي يبحث عن كائنٍ من النوع `TermCounter` في قاعدة بيانات Redis، ثم يبحث عن كلمةٍ، ويضيف مُدخَلًا إلى خريطةٍ من النوع `HashMap`. تستغرق جميع تلك العمليات زمنًا

ثابتًا، وبالتالي، ينتمي التابع `getCounts` في المجمل إلى المجموعة O(N) في أسوأ الحالات، ولكن عمليًا، يتناسب زمن تنفيذه مع عدد الصفحات التي تحتوي على تلك الكلمة، وهو عادةً عددٌ أصغر بكثيرٍ من N.

وأما فيما يتعلق بتحليل الخوارزميات، فإن تلك الخوارزمية تتميز بأقصى قدرٍ من الكفاءة، ولكنها مع ذلك بطيئةٌ لأنها ترسل الكثير من العمليات الصغيرة إلى قاعدة بيانات Redis. من الممكن تحسين أدائها باستخدام معاملةٍ من النوع `Transaction`. يُمكِنك محاولة تنفيذ ذلك أو الاطلاع على الحل في الملف RedisIndex.java (انتبه إلى أن اسمه في المستودع JedisIndex.java والله أعلم).

15.3 تحليل أداء عملية الفهرسة

ما الزمن الذي تستغرقه فهرسة صفحةٍ عند استخدام هياكل البيانات التي صمّمْناها؟ فكر قبل أن تكمل القراءة.

لكي نُفهرِّس صفحةً، فإننا نمرّ عبر شجرة DOM، ونعثر على الكائنات التي تنتمي إلى النوع `TextNode`، ونُقسِّم السلاسل النصية إلى كلمات بحثٍ. تَستغرِق كل تلك العمليات زمنًا يتناسب مع عدد الكلمات الموجودة في الصفحة.

نزيد العدّاد ضمن خريطة النوع `HashMap` لكل كلمة بحثٍ ضمن الصفحة، وهو ما يَستغرِق زمنًا ثابتًا، ما يَجعَل الصنف `TermCounter` يَستغرِق زمنًا يتناسب مع عدد الكلمات الموجودة في الصفحة.

تتطلَّب إضافة كائن الصنف `TermCounter` إلى قاعدة بيانات Redis حذف كائنٍ آخرَ منها. يستغرِق ذلك زمنًا يتناسب خطّيًّا مع عدد كلمات البحث. بعد ذلك، علينا أن نُنفِّذ التالي من أجل كل كلمة:

1. نضيف عنصرًا إلى كائنٍ من النوع `URLSet`.
2. نضيف عنصرًا إلى كائنٍ من النوع `TermCounter`.

تَستغرِق العمليتان السابقتان زمنًا ثابتًا، وبالتالي، يكون الزمن الكليُّ المطلوبُ لإضافة كائنٍ من النوع `TermCounter` خطيًا مع عدد كلمات البحث الفريدة.

نستخلص مما سبق أنّ زمن تنفيذ الصنف `TermCounter` يتناسب مع عدد الكلمات الموجودة في الصفحة، وأن إضافة كائنٍ ينتمي إلى النوع `TermCounter` إلى قاعدة بيانات Redis تتطلَّب زمنًا يتناسب مع عدد الكلمات الفريدة.

ولمّا كان عدد الكلمات الموجودة في الصفحة يتجاوز عادةً عدد كلمات البحث الفريدة، فإن التعقيد يتناسب طردًا مع عدد الكلمات الموجودة في الصفحة، ومع ذلك، قد تحتوي صفحةٌ ما نظرَيًا على جميع كلمات البحث الموجودة في الفهرس، وعليه، ينتمي الأداء في أسوأ الحالات إلى المجموعة O(M)، ولكننا لا نتوقَّع حدوث تلك الحالة عمليًّا.

يتضِّح من التحليل السابق أنه ما يزال من الممكن تحسين أداء الخوارزمية، فمثلًا يُمكِننا أن نتجنَّب فهرسة الكلمات الشائعة جدًا، لأنها أولًا تحتل مساحةً كبيرةً من الذاكرة كما أنها تستغرِق وقتًا طويلًا؛ فهي تَظهرَ تقريبًا في جميعِ كائناتِ النوعين `URLSet` و `TermCounter`، كما أنها لا تحمل أهميةً كبيرةً فهي لا تساعد على تحديد الصفحات التي يُحتمَل أن تكون ذاتَ صلةٍ بكلمات البحث.

تتجنَّب غالبية محركات البحث فهرسةَ الكلماتِ الشائعةِ التي يطلق عليها اسم الكلمات المهملة stop words ضمن هذا السياق.

15.4 التنقل في مخطط graph

إذا أكملت تمرين الفصل السابع كل الطرق تؤدي إلى روما، فلديك بالفعل برنامجٌ يقرأ صفحةً من موقع ويكيبيديا، ويبحث عن أول رابطٍ فيها، ويَستخدِمه لتحميل الصفحة التالية، ثم يكرر العملية. يُعدّ هذا البرنامج بمنزلةِ زاحفٍ من نوع خاص، فعادةً عندما يُذكرُ مصطلح "زاحف إنترنت" Web crawler، فالمقصود برنامج يُنفِّذ ما يلي:

- يُحمِّل صفحة بداية معينة، ويُفهرِس محتوياتها.
- يبحث عن جميع الروابط الموجودة في تلك الصفحة ويضيفها إلى تجميعة collection.
- يمرّ عبر تلك الروابط، ويُحمِّل كلًّا منها، ويُفهرِسه، ويضيف أثناء ذلك روابطَ جديدة.
- إذا عَثَر على مُحدّدِ مواردَ مُوحدٍ فهرَسَه من قبل، فإنه يتخطاه.

يُمكِننا أن نتصوّر شبكة الإنترنت كما لو كانت شعبة أو مخطط graph. تُمثِل كل صفحة إنترنت عقدةً node في تلك الشعبة، ويُمثِل كل رابط ضلعًا مُوجّهًا directed edge من عقدةٍ إلى عقدةٍ أخرى. يُمكِنك قراءة المزيد عن الشعب إذا لم تكن على معرفةٍ بها.

بناءً على هذا التصور، يستطيع الزاحف أن يبدأ من عقدةٍ معيّنةٍ، ويتنقل عبر أو يجتاز الشعبة، وذلك بزيارة العقد التي يُمكِنه الوصول إليها مرةً واحدةً فقط.

تُحدِّد التجميعة التي سنَستخدِمها لتخزين محددات الموارد المحددة نوع الاجتياز أو التنقل الذي يُنفِّذه الزاحف:

- إذا كانت التجميعة رتلًا queue، أي تتبع أسلوب "الداخل أولًا، يخرج أولًا" FIFO، فإن الزاحف يُنفِّذ اجتياز السّعة أولًا breadth-first.
- إذا كانت التجميعة مكدسًا stack، أي تتبع أسلوب "الداخل آخرًا، يخرج أولًا" LIFO، فإن الزاحف يُنفِّذ اجتياز العمق أولًا depth-first.

- من الممكن تحديد أولويّاتٍ لعناصر التجميعة. على سبيل المثال، قد نرغب في إعطاء أولوية أعلى للصفحات التي لم تُفهرَس منذ فترة طويلة.

15.5 تمرين 12

والآن، عليك كتابة الزاحف، ستجد ملفات الشيفرة التالية الخاصة بالتمرين في مستودع الكتاب:

- WikiCrawler.java: يحتوي على شيفرة مبدئيّة للزاحف.
- WikiCrawlerTest.java: يحتوي على اختبارات وحدة للصنف `WikiCrawler`.
- JedisIndex.java: يحتوي على حلِّ تمرينِ الفصل المشار إليه بالأعلى.

ستحتاج أيضًا إلى الأصناف المساعدة التالية التي استخدَمناها في تمارين الفصول السابقة:

- JedisMaker.java
- WikiFetcher.java
- TermCounter.java
- WikiNodeIterable.java

سيتعيّن عليك توفير ملفٍّ يحتوي على بيانات خادم Redis قبل تنفيذ الصنف `JedisMaker`. إذا أكملت تمرين الفصل المشار إليه بالأعلى، فقد جهّزت كل شيء بالفعل، أما إذا لم تكمله، فستجد التعليمات الضرورية لإتمام ذلك في نفس الفصل.

نفِّذ الأمر `ant build` لتصريف ملفات الشيفرة، ثم نفِّذ الأمر `ant JedisMaker` لكي تتأكّد من أنه مهيأٌ للاتصال مع خادم Redis الخاص بك.

والآن، نفِّذ الأمر `ant WikiCrawlerTest`. ستجد أن الاختبارات قد فشلت؛ لأن ما يزال عليك إتمام بعض العمل أولًا.

انظر إلى بداية تعريف الصنف `WikiCrawler`:

```
public class WikiCrawler {

    public final String source;
    private JedisIndex index;
    private Queue<String> queue = new LinkedList<String>();
    final static WikiFetcher wf = new WikiFetcher();
```

```
    public WikiCrawler(String source, JedisIndex index) {
        this.source = source;
        this.index = index;
        queue.offer(source);
    }

    public int queueSize() {
        return queue.size();
    }
```

يحتوي هذا الصنف على متغيرات النسخ instance variables التالية:

- `source`: مُحدّد الموارد الموحد الذي ستبدأ منه.
- `index`: مفهرِس -من النوع `JedisIndex`- ينبغي أن تُخزَّن النتائج فيه.
- `queue`: عبارة عن قائمة من النوع `LinkedList`. يُفترَض أن تُخزَّن فيها كلُّ محددات الموارد التي عثرت عليها، ولكن لم تُفهرِسها بعد.
- `wf`: عبارة عن كائن من النوع `WikiFetcher`. عليك أن تَستخدِمه لقراءة صفحات الإنترنت وتحليلها.

عليك الآن أن تكمل التابع `crawl`. انظر إلى بصمته:

```
    public String crawl(boolean testing) throws IOException {}
```

ينبغي أن تكون قيمة المعامل `testing` مساويةً للقيمة `true` إذا كان مستدعيه هو الصنف `WikiCrawlerTest`، وأن تكون مساويةً للقيمة `false` في الحالات الأخرى.

عندما تكون قيمة المعامل `testing` مساويةً للقيمة `true`، يُفترَض أن يُنفِّذ التابع `crawl` ما يلي:

- يختار مُحدّدَ موارد موحدًا من الرتل وفقًا لأسلوب "الداخل أولًا، يخرج أولًا" ثم يحذفه منه.
- يقرأ محتويات تلك الصفحة باستخدام التابع `WikiFetcher.readWikipedia` الذي يعتمد في قراءته للصفحات على نسخٍ مُخزّنةٍ مؤقتًا في المستودع بهدف الاختبار (لكي نتجنَّب أيَّ مشكلات ممكنة في حال تغيّرت النسخُ الموجودةُ في موقع ويكيبيديا).
- يُفهرِس الصفحة بغض النظر عما إذا كانت قد فُهرِسَت من قبل.
- ينبغي أن يجد كل الروابط الداخلية الموجودة في الصفحة ويضيفها إلى الرتل بنفس ترتيب ظهورها. يُقصَد بالروابط الداخلية تلك الروابط التي تشير إلى صفحات أخرى ضمن موقع ويكيبيديا.
- ينبغي أن يعيد مُحدّد الموارد الخاص بالصفحة التي فهرسها.

في المقابل، عندما تكون قيمة المعامل `testing` مساويةً للقيمة `false`، يُفترَض له أن يُنفِّذ ما يلي:

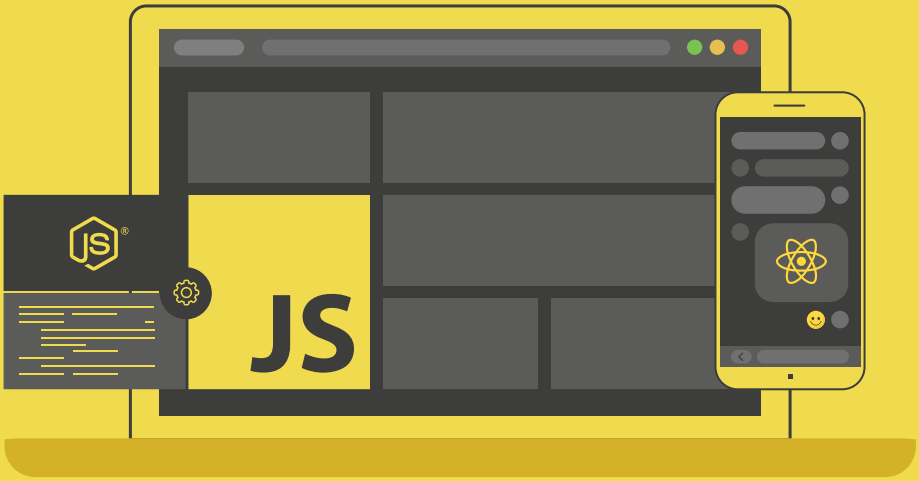
- يختار مُحدّد موارد موحدًا من الرتل وفقًا لأسلوب "الداخل أولًا، يخرج أولًا" ثم يحذفه منه.
- إذا كان محدّد الموارد المختار مفهرَسًا بالفعل، لا ينبغي أن يعيد فهرسته، وعليه أن يعيد القيمة `null`.
- إذا لم يُفهرَس من قبل، فينبغي أن يقرأ محتويات الصفحة باستخدام التابع `WikiFetcher.fetchWikipedia` الذي يعتمد في قراءته للصفحات على شبكة الإنترنت.
- ينبغي أن يُفهرِس الصفحة، ويضيف أيَّ روابطَ موجودةٍ فيها إلى الرتل، ويعيد مُحدّد الموارد الخاصَّ بالصفحة التي فهرسها.

يُحمِّل الصنف `WikiCrawlerTest` رتلًا يحتوي على 200 رابط، ثم يَستدعِي التابع `crawl` ثلاث مرّات، ويفحص في كلٍّ استدعاء القيمةَ المعادة والطولَ الجديد للرتل.

إذا أكملت زاحف الإنترنت الخاص بك بشكل صحيح، فينبغي أن تنجح الاختبارات.

وفقك الله!

دورة تطوير التطبيقات
باستخدام لغة JavaScript



مميزات الدورة

- بناء معرض أعمال قوي بمشاريع حقيقية
- وصول مدى الحياة لمحتويات الدورة
- تحديثات مستمرة على الدورة مجانًا
- شهادة معتمدة من أكاديمية حسوب
- إرشادات من المدربين على مدار الساعة
- من الصفر دون الحاجة لخبرة مسبقة

اشترك الآن

16. البحث المنطقي Boolean Search

سنشرح في هذا الفصل حل التمرين التالي من الفصل السابق، ثم ننفّذ شيفرة تدمج مجموعةً من نتائج البحث وترتِّبها بحسب مدى ارتباطها بكلمات البحث.

16.1 الزاحف crawler

لنمرّ أولًا على حل تمرين الفصل المشار إليه. كنا قد وفَّرنا الشيفرة المبدئية للصنف `WikiCrawler` وكان المطلوب منك هو إكمال التابع `crawl`. انظر الحقول المُعرَّفة في ذلك الصنف:

```
public class WikiCrawler {
    // يشير إلى المكان الذي بدأنا منه
    private final String source;

    // المفهرِس الذي سنخزن فيه النتائج
    private JedisIndex index;

    // رتل محددات الموارد الموحدة المطلوب فهرستها
    private Queue<String> queue = new LinkedList<String>();

    // يُستخدَم لقراءة الصفحات من موقع ويكيبيديا
    final static WikiFetcher wf = new WikiFetcher();
}
```

عندما نُنشِئ كائنًا من النوع `WikiCrawler`، علينا أن نُمرِّر قيمتي `source` و `index`. يحتوي المتغير `queue` مبدئيًا على عنصر واحد فقط هو `source`.

لاحِظ أن الرتل queue مُنفَّذ باستخدام قائمةٍ من النـوع LinkedList، وبالتـالي، تسـتغرق عمليـة إضـافة العناصر إلى نهايته -وحذفها من بدايته- زمنًا ثابتًا، ولأننـا أسـندنا قائمـةً من النـوع LinkedList إلى متغـير من النوع Queue، أصبح استخدامنا له مقتصرًا على التوابع المُعرَّفة بالواجهة Queue، أي سنَسـتخدِم التـابع offer لإضافة العناصر و poll لحذفها منه.

انظر تنفيذنا للتابع WikiCrawler.crawl:

```
    public String crawl(boolean testing) throws IOException {
        if (queue.isEmpty()) {
            return null;
        }
        String url = queue.poll();
        System.out.println("Crawling " + url);

        if (testing==false && index.isIndexed(url)) {
            System.out.println("Already indexed.");
            return null;
        }

        Elements paragraphs;
        if (testing) {
            paragraphs = wf.readWikipedia(url);
        } else {
            paragraphs = wf.fetchWikipedia(url);
        }
        index.indexPage(url, paragraphs);
        queueInternalLinks(paragraphs);
        return url;
    }
```

السبب وراء التعقيد الموجود في التابع السابق هو تسهيل عمليـة اختبـاره. تُوضِّـح النقـاط التاليـة المنطـق المبني عليه التابع:

- إذا كان الرتل فارغًا، يعيد التابع القيمة الفارغة null لكي يشير إلى أنه لم يُفهرِس أي صفحة.
- إذا لم يكن فارغًا، فإنه يقرأ محدد الموارد الموحد URL التالي ويَحذِفه من الرتل.

- إذا كان محدد الموارد قيد الاختيار مُفهرَسًا بالفعل، لا يُفهرِّسه التابع مرة أخرى إلا إذا كان في وضع الاختبار.
- يقرأ التابع بعد ذلك محتويات الصفحة: إذا كان التابع في وضع الاختبار، فإنه يقرؤها من ملف، وإن لم يكن كذلك، فإنه يقرؤها من شبكة الإنترنت.
- يُفهرِس الصفحة.
- يُحلِّل الصفحة ويضيف الروابط الداخلية الموجودة فيها إلى الرتل.
- يعيد في النهاية مُحدّد موارد الصفحة التي فهرَسها للتو.

كنا قد عرضنا تنفيذًا للتابع `Index.indexPage` في نفس الفصل المشار إليه في الأعلى، أي أن التابع الوحيد الجديد هو `WikiCrawler.queueInternalLinks`.

كتبنا نسختين من ذلك التابع بمعاملات parameters مختلفة: تَستقبِل الأولى كائنًا من النوع `Elements` يتضمَّن شجرة DOM واحدةً لكل فقرة، بينما تَستقبِل الثانية كائنًا من النوع `Element` يُمثِل فقرة واحدة.

تمرّ النسخة الأولى عبر الفقرات، في حين تُنفِّذ النسخة الثانية العمل الفعلي.

```
    void queueInternalLinks(Elements paragraphs) {
        for (Element paragraph: paragraphs) {
            queueInternalLinks(paragraph);
        }
    }

    private void queueInternalLinks(Element paragraph) {
        Elements elts = paragraph.select("a[href]");
        for (Element elt: elts) {
            String relURL = elt.attr("href");

            if (relURL.startsWith("/wiki/")) {
                String absURL = elt.attr("abs:href");
                queue.offer(absURL);
            }
        }
    }
```

لكي نُحدِّد ما إذا كان مُحدّد موارد موحد معين هو مُحدّد داخلي، فإننا نفحص ما إذا كان يبدأ بكلمة "/wiki/". قد يتضمَّن ذلك بعض الصفحات التي لا نرغب في فهرستها مثل بعض الصفحات الوصفية لموقع

ويكيبيديا، كما قد يستثني ذلك بعض الصفحات التي نريدها مثل روابط الصفحات المكتوبة بلغات أخرى غير الإنجليزية، ومع ذلك، تُعدّ تلك الطريقة جيدة بالقدر الكافي كبداية.

لا يتضمَّن هذا التمرين الكثير، فهو فرصة فقط لتجميع الأجزاء الصغيرة معًا.

16.2 استرجاع البيانات

سننتقل الآن إلى المرحلة التالية من المشروع، وهي تنفيذ أداة بحث تتكوّن مما يلي:

1. واجهة تُمكِّن المُستخدمين من إدخال كلمات البحث ومشاهدة النتائج.
2. طريقة لاستقبال كلمات البحث وإعادة الصفحات التي تتضمَّنها.
3. طريقة لدمج نتائج البحث العائدة من عدة كلمات بحث.
4. خوارزمية تُصنِّف نتائج البحث وتُرتِّبها.

يُطلَق على تلك العمليات وما يشابهها اسم استرجاع المعلومات Information retrieval.

أنشأنا بالفعل نسخةً بسيطةً من الخطوة رقم 2، وسنُركِّز في هذا التمرين على الخطوتين 3 و 4. قد ترغب بالعمل أيضًا على الخطوة رقم 1 إذا كنت مهتمًا ببناء تطبيقات الويب.

16.3 البحث المنطقي/الثنائي Boolean search

تستطيع معظم محركات البحث أن تُنفِّذ بحثًا منطقيًا، بمعنى أن بإمكانها دمج نتائج البحث الخاصة بعدة كلمات باستخدام المنطق الثنائي، ولنأخذ أمثلةً على ذلك:

- تعيد عملية البحث عن "java AND programming" الصفحات التي تحتوي على الكلمتين "java" و "programming" فقط.
- تعيد عملية البحث عن "java OR programming" الصفحات التي تحتوي على إحدى الكلمتين وليس بالضرورة كلتيهما.
- تعيد عملية البحث عن "java -indonesia" الصفحات التي تحتوي على كلمة "java" ولا تحتوي على كلمة "indonesia".

يُطلَق على تلك التعبيرات، أي تلك التي تحتوي على كلمات بحث وعمليات، اسم "استعلامات queries".

عندما تُطبَّق تلك العمليات على نتائج البحث، فإن الكلمات "AND" و "OR" و "-" تقابل في الرياضياتِ عمليات "التقاطع" و "الاتحاد" و "الفرق" على الترتيب. لنفترض مثلًا أن:

- s1 يمثل مجموعة الصفحات التي تحتوي على كلمة "java"،

- `s2` يمثل مجموعة الصفحات التي تحتوي على كلمة "programming"،
- `s3` يمثل مجموعة الصفحات التي تحتوي على كلمة "indonesia"،

في تلك الحالة:

- يُمثِل التقاطع بين `s1` و `s2` مجموعة الصفحات التي تحتوي على الكلمتين "java" و "programming" معًا.
- يُمثِل الاتحاد بين `s1` و `s2` مجموعة الصفحات التي تحتوي على كلمة "java" أو كلمة "programming".
- يُمثِل الفرق بين `s1` و `s3` مجموعة الصفحات التي تحتوي على كلمة "java" ولا تحتوي على كلمة "indonesia".

ستكتب في القسم التالي تابعًا يُنفِّذ تلك العمليات.

16.4 تمرين 13

ستجد ملفات شيفرة هذا التمرين في مستودع الكتاب:

- WikiSearch.java: يُعرِّف كائنًا يحتوي على نتائج البحث ويُطبِّق العمليات عليها.
- WikiSearchTest.java: يحتوي على شيفرة اختبار للصنف `WikiSearch`.
- Card.java: يُوضِّح طريقة استخدام التابع `sort` المُعرَّف بالنوع `java.util.Collections`.

ستجد أيضًا بعض الأصناف المساعدة التي استخدَمناها من قبل هذا الكتاب.

انظر بداية تعريف الصنف `WikiSearch`:

```
public class WikiSearch {

    // يربط مُحدّدات الموارد التي تحتوي على الكلمة بدرجة الارتباط
    private Map<String, Integer> map;

    public WikiSearch(Map<String, Integer> map) {
        this.map = map;
    }

    public Integer getRelevance(String url) {
        Integer relevance = map.get(url);
```

```
            return relevance==null ? 0: relevance;
        }
    }
```

يحتوي كائن النوع `WikiSearch` على خريطة map تربط مُحدّدات الموارد الموحدة URLs بدرجة الارتباط relevance score، والتي تُمثِل -ضمن سياق استرجاع البيانات- عددًا يشير إلى المدى الذي يستوفي به مُحدِّد الموارد الاستعلام الذي يدخله المُستخدِم. تتوفّر الكثير من الطرائق لحساب درجة الارتباط، ولكنها تعتمد في الغالب على "تردد الكلمة" أي عدد مرات ظهورها في الصفحة. يُعدّ TF-IDF واحدًا من أكثر درجات الارتباط شيوعًا، وتُمثِل الأحرف اختصارًا لعبارة تردد المصطلح term frequency - معكوس تردد المستند inverse document frequency.

- إذا احتوى الاستعلام على كلمة بحث واحدة، فإن درجة الارتباط لصفحة معينة تساوي تردّد الكلمة، أي عدد مرات ظهورها في تلك الصفحة.
- بالنسبة للاستعلامات التي تحتوي على عدة كلمات، تكون درجة الارتباط لصفحة معينة هي حاصل مجموع تردد الكلمات، أي عدد مرات ظهور أي كلمة منها.

والآن وقد أصبحت مستعدًا لبدء التمرين، نفِّذ الأمر `ant build` لتصريف ملفات الشيفرة، ثم نفِّذ الأمر `ant WikiSearchTest`. ستفشل الاختبارات كالعادة لأن ما يزال عليك إكمال بعض العمل.

أكمل متن كلٍّ من التوابع `and` و `or` و `minus` في الملف WikiSearch.java لكي تتمكّن من اجتياز الاختبارات المرتبطة بتلك التوابع. لا تقلق بشأن التابع `testSort`، فسنعود إليه لاحقًا.

يُمكِنك أن تُنفِّذ `WikiSearchTest` بدون اِستخدَام Jedis لأنه لا يعتمد على فهرس قاعدة بيانات Redis الخاصة بك، ولكن، إذا أردت أن تَستخِدم الفهرس للاستعلام query، فلا بُدّ أن توفِّر بيانات الخادم في ملف، كما أوضحنا في الفصل 14 حفظ البيانات عبر Redis.

نفِّذ الأمر `ant JedisMaker` لكي تتأكّد من قدرته على الاتصال بخادم Redis، ثم نفِّذ `WikiSearch` الذي يَطبَع نتائج الاستعلامات الثلاثة التالية:

- "java"
- "programming"
- "java AND programming"

لن تكون النتائج مُرتَّبة في البداية لأن التابع `WikiSearch.sort` ما يزال غير مكتمل.

أكمل متن التابع `sort` لكي تُصبِح النتائج مُرتَّبة تصاعديًا بحسب درجة الارتباط. يُمكِنك الاستعانة بالتابع `sort` المُعرَّف بالنوع `java.util.Collections` حيث يُمكِنه ترتيب أي نوع قائمة `List`. يُمكِنك الاطلاع على توثيق النوع List.

تتوفَّر نسختان من التابع `sort`:

- نسخة أحادية المعامل تَستقبِل قائمةً وتُرتِّب عناصرها باستخدام التابع `compareTo`، ولذلك ينبغي أن تكون العناصر من النوع `Comparable`.
- نسخة ثنائية المعامل تَستقبِل قائمةً من أي نوع وكائنًا من النوع `Comparator`، ويُستخدَم التابع `compare` المُعرَّف ضمن الكائن لموازنة العناصر.

سنتحدث عن الواجهتين `Comparable` و `Comparator` في القسم التالي إن لم تكن على معرفة بهما.

16.5 الواجهتان Comparable و Comparator

يتضمَّن مستودع الكتاب الصنف `Card` الذي يحتوي على طريقتين لترتيب قائمة كائنات من النوع `Card`. انظر إلى بداية تعريف الصنف:

```
public class Card implements Comparable<Card> {

    private final int rank;
    private final int suit;

    public Card(int rank, int suit) {
        this.rank = rank;
        this.suit = suit;
    }
```

تحتوي كائنات الصنف `Card` على الحقلين `rank` و `suit` من النوع العددي الصحيح. يُنفِّذ الصنف `Card` الواجهة `Comparable<Card>` مما يَعنِي أنه بالضرورة يُوفِّر تنفيذًا للتابع `compareTo`:

```
    public int compareTo(Card that) {
        if (this.suit < that.suit) {
            return -1;
        }
        if (this.suit > that.suit) {
            return 1;
        }
```

```
        if (this.rank < that.rank) {
            return -1;
        }
        if (this.rank > that.rank) {
            return 1;
        }
        return 0;
    }
```

تشير بصمة التابع `compareTo` إلى أن عليه أن يعيد عددًا سالبًا إذا كان `this` أقل من `that`، وعددًا موجبًا إذا كان أكبر منه، وصفرًا إذا كانا متساويين.

إذا استخدمت نسخة التابع `Collections.sort` أحادية المعامل، فإنها بدورها تَستدعِي التابع `compareTo` المُعرَّف ضمن العناصر لكي تتمكّن من ترتيبها. على سبيل المثال، تُنشِئ الشيفرة التالية قائمة تحتوي على 52 بطاقة:

```
    public static List<Card> makeDeck() {
        List<Card> cards = new ArrayList<Card>();
        for (int suit = 0; suit <= 3; suit++) {
            for (int rank = 1; rank <= 13; rank++) {
                Card card = new Card(rank, suit);
                cards.add(card);
            }
        }
        return cards;
    }
```

ثم تُرتِّبها كالتالي:

```
        Collections.sort(cards);
```

تُرتِّب تلك النسخة من التابع `sort` العناصر وفقًا لما يُطلَق عليه "الترتيب الطبيعي" لأن الترتيب مُحدّد بواسطة العناصر نفسها.

في المقابل، يُمكِننا أيضًا أن نستعين بكائن من النوع `Comparator` لكي نَفرِض نوعًا مختلفًا من الترتيب. على سبيل المثال، تحتل بطاقات الأص المَرتَبَة الأقلّ بحسب الترتيب الطبيعي للصنف `Card`، ومع ذلك، فإنها أحيانًا تحتل المرتبة الأكبر في بعض ألعاب البطاقات، ولذلك، سنُعرِّف كائنًا من النوع `Comparator` يُعامِل الأصّ على أنّها البطاقة الأكبر ضمن مجموعة بطاقات اللعب. انظر إلى شيفرة ذلك النوع:

```
        Comparator<Card> comparator = new Comparator<Card>() {
            @Override
            public int compare(Card card1, Card card2) {
                if (card1.getSuit() < card2.getSuit()) {
                    return -1;
                }
                if (card1.getSuit() > card2.getSuit()) {
                    return 1;
                }
                int rank1 = getRankAceHigh(card1);
                int rank2 = getRankAceHigh(card2);

                if (rank1 < rank2) {
                    return -1;
                }
                if (rank1 > rank2) {
                    return 1;
                }
                return 0;
            }

            private int getRankAceHigh(Card card) {
                int rank = card.getRank();
                if (rank == 1) {
                    return 14;
                } else {
                    return rank;
                }
            }
        };
```

تُعرِّف تلك الشيفرة صـنفًا مجهـول الاسـم anonymous يُنفِّذ التـابع `compare` على النحـو المطلـوب، ثم تُنشِئ نسخةً منه. يُمكِنك القراءة عن الأصناف مجهولة الاسم Anonymous Classes في لغة جافـا إذا لم تكن على معرفة بها.

يُمكِننا الآن أن نُمرِّر ذلك الكائن المنتمي للنوع `Comparator` إلى التابع `sort`، كما هو مـبين في الشـيفرة التالية:

```
        Collections.sort(cards, comparator);
```

يُعد الأص البستوني وفقًا لهذا الترتيب البطاقة الأكبر ضمن مجموعة بطاقات اللعب، بينما تعد البطاقة ذات الرقم 2 البطاقة الأصغر.

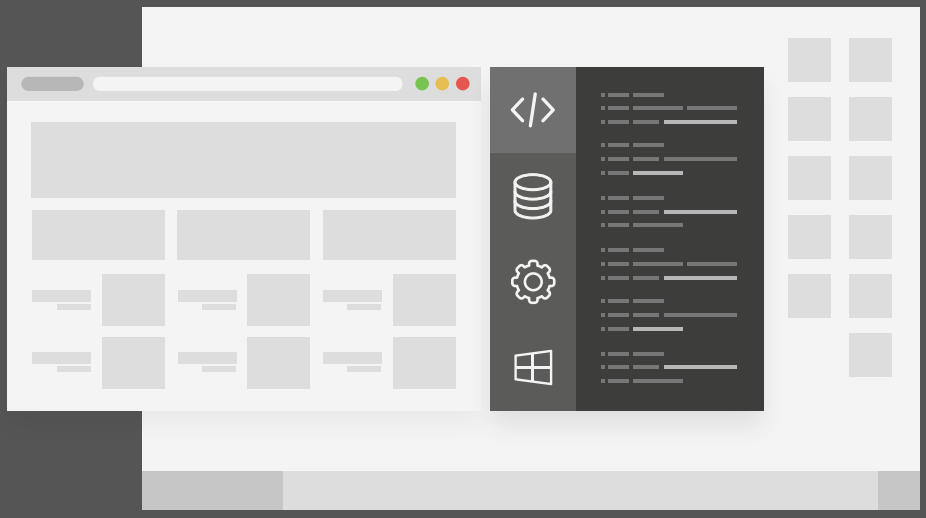
ستجد شيفرة هذا القسم في الملف `Card.java` إن كنت تريد تجريبه. قد ترغب أيضًا في كتابة كائن آخر من النوع `Comparator` يُرتِّب العناصر بناءً على قيمة `rank` أولًا ثم قيمة `suit`، وبالتالي، تصبح جميع بطاقات الأصّ معًا وجميع البطاقات الثنائية معًا، وهكذا.

16.6 ملحقات

إذا تمكَّنت من كتابة الكائن الذي أشرنا إليه في الأعلى، هاك بعض الأفكار الأخرى التي يُمكِنك أن تحاول القيام بها:

- اقرأ عن درجة الارتباط TF-IDF ونفِّذها. قد تحتاج إلى تعديل الصنف `JavaIndex` لكي تجعله يَحسِب قيمة ترددات المستند أي عدد مرات ظهور كل كلمة في جميع الصفحات الموجودة بالفهرس.
- بالنسبة للاستعلامات المكوَّنة من أكثر من كلمةٍ واحدة، يُمكِنك أن تَحسِب درجة الارتباط الإجمالية لكل صفحة بحساب مجموع درجة الارتباط لجميع الكلمات. فكر متى يُمكِن لهذه النسخة المبسطة أن تَفشَل وجرِّب بدائل أخرى.
- أنشِئ واجهة مُستخدِم تَسمَح للمُستخدِمين بإدخال استعلامات تحتوي على عوامل operators منطقية. حلِّل الاستعلامات المُدْخَلة، وولِّد النتائج، ثم رتِّبها بحسب درجة الارتباط، واعرض مُحدِّدات الموارد التي أحرزت أعلى درجات. حاول أيضًا أن تُولِّد مقطع شيفرة يَعرِض مكان ظهور كلمات البحث في الصفحة.

دورة علوم الحاسوب



مميزات الدورة

- بناء معرض أعمال قوي بمشاريع حقيقية
- شهادة معتمدة من أكاديمية حسوب
- وصول مدى الحياة لمحتويات الدورة
- إرشادات من المدربين على مدار الساعة
- تحديثات مستمرة على الدورة مجانًا
- من الصفر دون الحاجة لخبرة مسبقة

اشترك الآن

17. الترتيب Sorting

لدى أقسام علوم الحاسوب هوس غير طبيعي بخوارزميات الترتيب، فبناءً على الوقت الذي يمضيه طلبة علوم الحاسوب في دراسة هذا الموضوع، قد تظن أن الاختيار ما بين خوارزميات الترتيب هو حجر الزاوية في هندسة البرمجيات الحديثة. واقع الأمر هو أن مطوري البرمجيات قد يقضون سنوات قد تصل إلى مسارهم المهني بأكمله دون التفكير في طريقة حدوث عملية الترتيب، فهم يَستخدِمون في كل التطبيقات تقريبًا الخوارزمية متعددة الأغراض التي توفِّرها اللغة أو المكتبة التي يستخدمونها، والتي تكون كافيةً في معظم الحالات.

لذلك لو تجاهلت هذا الفصل ولم تتعلم أي شيء عن خوارزميات الترتيب، فما يزال بإمكانك أن تصبح مُطوِّر برمجيات جيدًا، ومع ذلك، هناك عدة أسباب قد تدفعك لقراءته:

1. على الرغم من وجود خوارزميات متعددة الأغراض يُمكِنها العمل بشكل جيد في غالبية التطبيقات، هنالك خوارزميّتان مُتخصّصتان قد تحتاج إلى معرفة القليل عنهما: الترتيب بالجذر radix sort والترتيب بالكومة المقيدّة bounded heap sort.
2. تُعدّ خوارزمية الترتيب بالدمج merge sort المثال التعليميّ الأمثل، فهي تُوضِّح استراتيجية "قسِّم واغزُ divide and conquer" المهمة والمفيدة في تصميم الخوارزميات. بالإضافة إلى ذلك، ستتعلم عن ترتيب نمو order of growth لم تَرَهُ من قبل، هو ترتيب النمو "الخطي-اللوغاريتمي linearithmic". ومن الجدير بالذكر أن غالبية الخوارزميات الشهيرة تكون عادةً خوارزميّاتٍ هجينةً وتستخدم بشكلٍ أو بآخر فكرة الترتيب بالدمج.
3. أحد الأسباب الأخرى التي قد تدفعك إلى تعلم خوارزميات الترتيب هي مقابلات العمل التقنية، فعادةً ما تُسأل خلالها عن تلك الخوارزميات. إذا كنت تريد الحصول على وظيفة، فسيُساعدك إظهار اطلاعك على أبجديات علوم الحاسوب.

سنُحلِّل في هذا الفصل خوارزمية الترتيب بالإدراج insertion sort، وسننفِّذ خوارزمية الترتيب بالدمج، وأخيرًا، سنشرح خوارزمية الترتيب بالجذر، وسنكتب نسخةً بسيطةً من خوارزمية الترتيب بالكومة المُقيّدة.

17.1 الترتيب بالإدراج Insertion sort

سنبدأ بخوارزمية الترتيب بالإدراج، لأنها بسيطة ومهمة. على الرغم من أنها ليست الخوارزمية الأكفأ إلا أنها تملك بعض الميزات المتعلقة بتحرير الذاكرة كما سنرى لاحقًا.

لن نشرح هذه الخوارزمية هنا، ولكن يُفضّلُ لو قرأت مقالة ويكيبيديا عن الترتيب بالإدراج Insertion Sort، فهي تحتوي على شيفرة وهمية وأمثلة متحركة. وبعدما تفهم فكرتها العامة يمكنك متابعة القراءة هنا.

تَعرِض الشيفرة التالية تنفيذًا بلغة جافا لخوارزمية الترتيب بالإدراج:

```
public class ListSorter<T> {

    public void insertionSort(List<T> list, Comparator<T> comparator)
{

        for (int i=1; i < list.size(); i++) {
            T elt_i = list.get(i);
            int j = i;
            while (j > 0) {
                T elt_j = list.get(j-1);
                if (comparator.compare(elt_i, elt_j) >= 0) {
                    break;
                }
                list.set(j, elt_j);
                j--;
            }
            list.set(j, elt_i);
        }
    }
}
```

عرَّفنا الصنف `ListSorter` ليَعمَل كحاوٍ لخوارزميات الترتيب. نظرًا لأننا استخدمنا معامل نوع type parameter، اسمه `T`، ستتمكَّن التوابع التي سنكتبها من العمل مع قوائم تحتوي على أي نوع من الكائنات.

يستقبل التابع `insertionSort` معاملين: الأول عبارة عن قائمة من أي نوع ممتدّ من الواجهة `List` والثاني عبارة عن كائن من النوع `Comparator` بإمكانه موازنة كائنات النوع `T`. يُرتِّب هذا التابع القائمة في نفس المكان أي أنه يُعدِّل القائمة الموجودة ولا يحتاج إلى حجز مساحة إضافية جديدة.

تَستدعِي الشيفرة التالية هذا التابع مع قائمة من النوع `List` تحتوي على كائنات من النوع `Integer`:

```
List<Integer> list = new ArrayList<Integer>(
    Arrays.asList(3, 5, 1, 4, 2));

Comparator<Integer> comparator = new Comparator<Integer>() {
    @Override
    public int compare(Integer elt1, Integer elt2) {
        return elt1.compareTo(elt2);
    }
};

ListSorter<Integer> sorter = new ListSorter<Integer>();
sorter.insertionSort(list, comparator);
System.out.println(list);
```

يحتوي التابع `insertionSort` على حلقتين متداخلتين nested loops، ولذلك، قد تظن أن زمن تنفيذه تربيعي، وهذا صحيحٌ في تلك الحالة، ولكن قبل أن تتوصل إلى تلك النتيجة، عليك أولًا أن تتأكّد من أن عدد مرات تنفيذِ كل حلقةٍ يتناسب مع حجم المصفوفة n.

تتكرر الحلقة الخارجية من 1 إلى `list.size()`، ولذلك تُعدّ خطيّةً بالنسبة لحجم القائمة n، بينما تتكرر الحلقة الداخلية من `i` إلى صفر، لذلك هي أيضًا خطيّة بالنسبة لقيمة n. بناءً على ذلك، يكون عدد مرات تنفيذ الحلقة الداخلية تربيعيًّا.

إذا لم تكن متأكّدًا من ذلك، انظر إلى البرهان التالي:

- في المرة الأولى، قيمة `i` تساوي 1، وتتكرر الحلقة الداخليّة مرةً واحدةً على الأكثر.
- في المرة الثانية، قيمة `i` تساوي 2، وتتكرر الحلقة الداخليّة مرتين على الأكثر.
- في المرة الأخيرة، قيمة `i` تساوي n-1، وتتكرر الحلقة الداخليّة عددًا قدره n-1 من المرات على الأكثر.

وبالتالي، يكون عدد مرات تنفيذ الحلقة الداخلية هو مجموع المتتالية 1، 2، ... حتى n-1، وهو ما يُساوِي n(n-1)/2. لاحِظ أن القيمة الأساسية (ذات الأس الأكبر) بهذا التعبير هي n2.

يُعدّ الترتيب بالإدراج تربيعيًا في أسوأ حالة، ومع ذلك:

1. إذا كانت العناصر مُرتَّبةً أو شبه مُرتَّبةٍ بالفعل، فإن الترتيب بالإدراج يكون خطّيًّا. بالتحديد، إذا لم يكن كل عنصرٍ أبعدَ من موضعه الصحيح مسافةً أكبرَ من k، فإن الحلقة الداخلية لن تُنفَّذ أكثر من عددٍ قدره k من المرات، ويكون زمن التنفيذ الكلي هو O(kn).
2. نظرًا لأن تنفيذ تلك الخوارزمية بسيط، فإن تكلفته منخفضة، أي على الرغم من أن زمن التنفيذ يساوي a n2، إلا أن المعامل a قد يكون صغيرًا.

ولذلك، إذا عرفنا أن المصفوفة شبه مُرتَّبة أو إذا لم تكن كبيرةً جدًا، فقد يكون الترتيب بالإدراج خيارًا جيدًا، ولكن بالنسبة للمصفوفات الكبيرة، فهنالك خيارات أفضل بكثير.

17.2 تمرين 14

تُعدّ خوارزمية الترتيب بالدمج merge sort واحدةً من ضمن مجموعةٍ من الخوارزميات التي يتفوق زمن تنفيذها على الزمن التربيعيّ. ننصحك قبل المتابعة بقراءة مقالة ويكيبيديا عن الترتيب بالدمج merge sort. بعد أن تفهم الفكرة العامة للخوارزمية، يُمكِنك العودة لاختبار فهمك بكتابة تنفيذٍ لها.

ستجد ملفات الشيفرة التالية الخاصة بالتمرين في مستودع الكتاب:

- ListSorter.java
- ListSorterTest.java

نفِّذ الأمر `ant build` لتصريف ملفات الشيفرة ثم نفِّذ الأمر `ant ListSorterTest`. سيفشل الاختبار كالعادة لأن ما يزال عليك إكمال بعض الشيفرة.

ستجد ضمن الملف ListSorter.java شيفرةً مبدئيّةً للتابعين `mergeSortInPlace` و `mergeSort`:

```
    public void mergeSortInPlace(List<T> list, Comparator<T>
comparator) {
        List<T> sorted = mergeSortHelper(list, comparator);
        list.clear();
        list.addAll(sorted);
    }

    private List<T> mergeSort(List<T> list, Comparator<T> comparator)
{
       // TODO: fill this in!
       return null;
    }
```

يقوم التابعان بنفس الشيء، ولكنهما يوفران واجهاتٍ مختلفة. يَستقبِل التابع `mergeSort` قائمةً ويعيد قائمةً جديدةً تحتوي على نفس العناصر بعد ترتيبها ترتيبًا تصاعديًا. في المقابل، يُعدِّل التابع `mergeSortInPlace` القائمة ذاتها ولا يعيد أيّة قيمة.

عليك إكمال التابع `mergeSort`. ويمكنك بدلًا من كتابة نسخة تعاودية recursive بالكامل، أن تتبع الطريقة التالية:

1. قسِّم القائمة إلى نصفين.
2. رتِّب النصفين باستخدام التابع `Collections.sort` أو التابع `insertionSort`.
3. ادمج النصفين المُرتَّبين إلى قائمة واحدة مُرتَّبة.

سيعطيك هذا التمرين الفرصة لتنقيح شيفرة الدمج دون التعامل مع تعقيدات التوابع التعاودية.

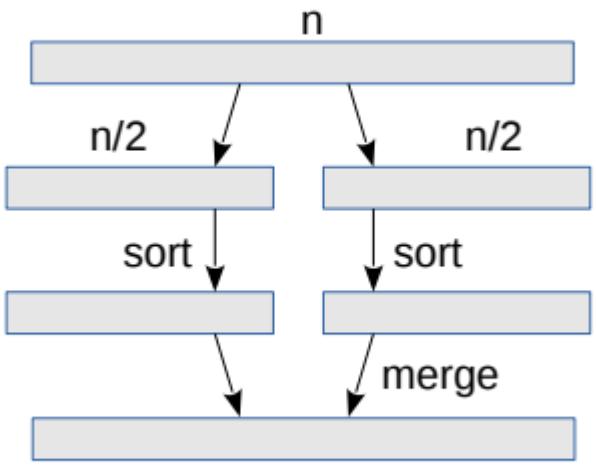
والآن أضف حالة أساسية base case. إذا كان لديك قائمة تحتوي على عنصر واحد فقط، يُمكِنك أن تعيدها مباشرةً لأنها نوعًا ما مُرتَّبة بالفعل، وإذا كان طول القائمة أقل من قيمة معينة، يُمكِنك أن تُرتِّبها باستخدام التابع `Collections.sort` أو التابع `insertionSort`. اختبر الحالة الأساسية قبل إكمال القراءة.

أخيرًا، عدِّل الحل واجعله يُنفِّذ استدعاءين تعاوديّين لترتيب نصفي المصفوفة. إذا عدلته بالشكل الصحيح، ينبغي أن ينجح الاختباران `testMergeSort` و `testMergeSortInPlace`.

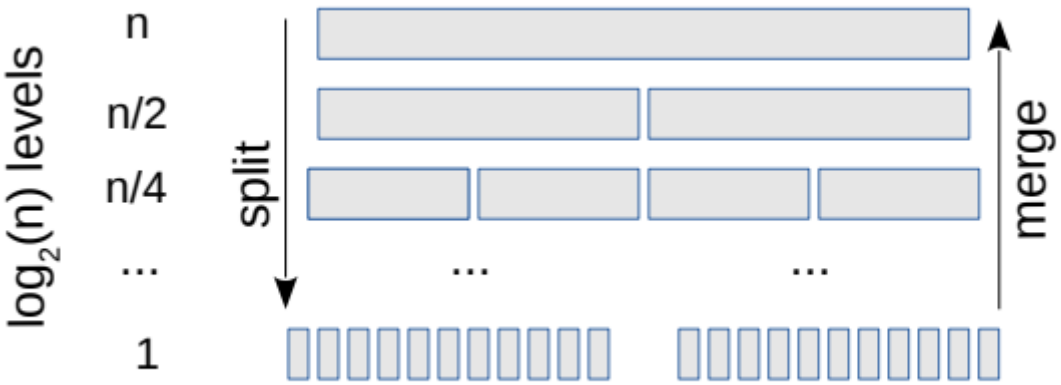
17.3 تحليل أداء خوارزمية الترتيب بالدمج

لكي نصنف زمن تنفيذ خوارزمية الترتيب بالدمج، علينا أن نفكر بمستويات التعاود وبكمية العمل المطلوب في كل مستوى. لنفترض أننا سنبدأ بقائمةٍ تحتوي على عددٍ قدره n من العناصر. وفيما يلي خطوات الخوارزمية:

1. نُنشِئ مصفوفتين وننسخ نصف العناصر إليهما.
2. نُرتِّب النصفين.
3. ندمج النصفين.



تنسخ الخطوة الأولى كل عنصر مرةً واحدةً، أي أنها خطّيّة. بالمثل، تنسخ الخطوة الثالثة كل عنصر مرةً واحـدةً فقط، أي أنها خطّيّة كذلك. علينا الآن أن نُحدِّد تعقيد الخطوة الثانية. ستسـاعدنا على ذلـك الصـورة التاليـة الـتي تَعرِض مستويات التعاود.



في المستوى الأعلى، سيكون لدينا قائمة واحدة مُكوَّنة من عددٍ قدره n من العناصر. للتبسيط، سنفترض أن n عبارة عن قيمة مرفوعة للأس 2، وبالتالي، سيكون لدينا في المستوى التالي قائمتـان تحتويـان على عـدد n/2 من العناصر. ثمّ في المستوى التالي، سيكون لدينا 4 قوائم تحتوي على عدد قدره n/4 من العناصر، وهكذا حـتى نصل إلى عدد n من القوائم تحتوي جميعها على عنصر واحد فقط.

لدينا إذًا عدد قدره n من العناصر في كل مستوى. أثناء نزولنا في المستويات، قسّمنا المصـفوفات في كـل مستوى إلى نصفين، وهو ما يستغرق زمنًا يتناسب مع n في كل مستوى، وأثناء صعودنا للأعلى، علينا أن نـدمج عددًا من العناصر مجموعه n وهو ما يستغرق زمنًا خطيًا أيضًا.

إذا كان عدد المستويات يساوي h، فإن العمل الإجمالي المطلوب يساوي O(nh)، والآن، كم هو عدد المستويات؟ يُمكِننا أن نفكر في ذلك بطريقتين:

1. كم عدد المرات التي سنضطر خلالها لتقسيم n إلى نصفين حتى نصل إلى 1.
2. أو كم عدد المرات التي سنضطرّ خلالها لمضاعفة العدد 1 قبل أن نصل إلى n.

يُمكِننا طرح السؤال الثاني بطريقة أخرى: "ما هي قيمة الأس المرفوع للعدد 2 لكي نحصل على n؟".

$$2^h = n$$

بحساب لوغاريتم أساس 2 لكلا الطرفين، نحصل على التالي:

$$h = \log_2 n$$

أي أن الزمن الكلي يساوي O(n log(n)). لاحظ أننا تجاهلنا قيمة أساس اللوغاريتم لأن اختلاف أساس اللوغاريتم يؤثر فقط بعامل ثابت، أي أن جميع اللوغاريتمات لها نفس ترتيب النمو order of growth.

يُطلَق أحيانًا على الخوارزميات التي تنتمي إلى O(n log(n)) اسم "خطي-لوغاريتمي linearithmic"، ولكن في العادة نقول "n log n".

في الواقع، يُعدّ O(n log(n)) الحد الأدنى من الناحية النظرية لخوارزميات الترتيب التي تَعتمد على موازنة العناصر مع بعضها البعض. يعني ذلك أنه لا توجد خوارزمية ترتيب بالموازنة ذات ترتيب نموٍّ أفضلَ من n log n.

ولكن كما سنرى في القسم التالي، هناك خوارزميات ترتيبٍ لا تعتمد على الموازنة وتستغرق زمنًا خطيًا.

17.4 خوارزمية الترتيب بالجذر Radix sort

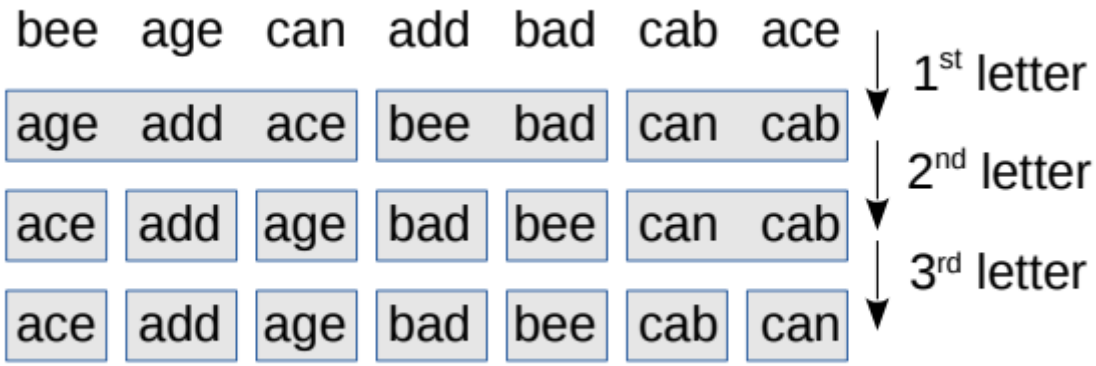
إن واجهنا سؤالًا عن أكفأ طريقة لترتيب مليون عدد صحيح من نوع 32 بت فلن تكون خوارزمية ترتيب الفقاعات الطريقة الأفضل، فخوارزمية ترتيب الفقاعات bubble sort صحيحٌ أنها بسيطة وسهلة الفهم، لكنّها تستغرق زمنًا تربيعيًا، كما أن أداءها ليس جيدًا بالموازنة مع خوارزميات الترتيب التربيعية الأخرى.

ربما خوارزمية الترتيب بالجذر radix sort هي الإجابة الأدق عن السؤال، فهي خوارزمية ترتيب غير مبنيّة على الموازنة، كما أنها تَعمَل بنجاح عندما يكون حجم العناصر مقيّدًا كعدد صحيح من نوع 32 بت أو سلسلة نصية مُكوَّنة من 20 محرفًا.

لكي نفهم طريقة عملها، لنتخيل أن لدينا مكدّسًا stack من البطاقات، وكل واحدة منها تحتوي على كلمة مُكوَّنة من ثلاثة أحرف. ها هي الطريقة التي يُمكِن أن نرتب بها تلك البطاقات:

1. مرّ عبر البطاقات وقسمها إلى مجموعات بناءً على الحرف الأول، أي ينبغي أن تكون الكلمات البادئة بالحرف a ضمن مجموعة واحدة، يليها الكلمات التي تبدأ بحرف b، وهكذا.
2. قسِّم كل مجموعة مرة أخرى بناءً على الحرف الثاني، بحيث تصبح الكلمات البادئة بالحرفين aa معًا، يليها الكلمات التي تبدأ بالحرفين ab، وهكذا. لن تكون كل المجموعات مملوءةً بالتأكيد، ولكن لا بأس بذلك.
3. قسِّم كل مجموعة مرة أخرى بحسب الحرف الثالث.

والآن، أصبحت كل مجموعة مُكوَّنة من عنصر واحد فقط، كما أصبحت المجموعات مُرتَّبةً ترتيبًا تصاعديًا. تَعرِض الصورة التالية مثالًا عن الكلمات المكوَّنة من ثلاثة أحرف.



يَعرِض الصف الأول الكلمات غير المُرتَّبة، بينما يَعرِض الصف الثاني شكل المجموعات بعد اجتيازها أو التنقل فيها للمرة الأولى. تبدأ كلمات كل مجموعة بنفس الحرف.

بعد اجتياز الكلمات للمرة الثانية، تبدأ كلمات كل مجموعة بنفس الحرفين الأوليين، وبعد اجتيازها للمرة الثالثة، سيكون هنالك كلمة واحدة فقط في كل مجموعة، وستكون المجموعات مُرتَّبة.

أثناء كل اجتياز، نمرّ عبر العناصر ونضيفها إلى المجموعات. يُعدّ كل اجتياز منها خطيًا طالما كانت تلك المجموعات تَسمَح بإضافة العناصر إليها بزمن خطي.

تعتمد عدد مرات الاجتياز أو التنقل -التي سنطلق عليها w- على عرض الكلمات، ولكنه لا يعتمد على عدد الكلمات n، وبالتالي، يكون ترتيب النمو O(wn) وهو خطي بالنسبة لقيمة n.

تتوفَّر نسخ أخرى من خوارزمية الترتيب بالجذر، ويُمكِن تنفيذ كُلٍّ منها بطرق كثيرة. يُمكِنك قراءة المزيد عن خوارزمية الترتيب بالجذر، كما يُمكِنك أن تحاول كتابة تنفيذ لها.

17.5 خوارزمية الترتيب بالكومة Heap sort

إلى جانب خوارزمية الترتيب بالجذر التي تُطبَّق عندما يكون حجم الأشياء المطلوب ترتيبها مقيّدًا، هنالك خوارزمية مُخصَّصة أخرى هي خوارزمية الترتيب بالكومة المُقيّدة، والتي تُطبَّق عندما نعمل مع بياناتٍ ضخمةٍ جدًا ونحتاج إلى معرفة أكبر 10 أو أكبر عدد k حيث k قيمة أصغر بكثير من n.

لنفترض مثلًا أننا نراقب خدمةً عبر الإنترنت تتعامل مع بلايين المعاملات يوميًا، وأننا نريد في نهاية كل يوم معرفة أكبر k من المعاملات (أو أبطأ أو أي معيار آخر). يُمكِننا مثلًا أن نُخزِّن جميع المعاملات، ثم نُرتِّبها في نهاية اليوم، ونختار أول k من المعاملات. سيستغرق ذلك زمنًا يتناسب مع $n \log n$، وسيكون بطيئًا جدًا لأننا من المحتمل ألا نتمكَّن من ملاءمة بلايين المعاملات داخل ذاكرة برنامج واحد، وبالتالي، قد نضطرّ لاستخدام خوارزمية ترتيب بذاكرة خارجية (خارج النواة).

يُمكِننا بدلًا من ذلك أن نَستخدِم كومة مُقيدّة heap. إليك ما سنفعله في ما تبقى من هذا الفصل:

1. سنشرح خوارزمية الترتيب بالكومة (غير المقيدة).
2. ستنفذ الخوارزمية.
3. سنشرح خوارزمية الترتيب بالكومة المُقيدة ونُحلِّلها.

لكي تفهم ما يعنيه الترتيب بالكومة، عليك أولًا فهم ماهية الكومة. الكومة ببساطة عبارة عن هيكل بياني data structure مشابه لشجرة البحث الثنائية binary search tree. تتلخص الفروق بينهما في النقاط التالية:

- تتمتع أي عقدة x بشجرة البحث الثنائية بـ"خاصية BST" أي تكون جميع عقد الشجرة الفرعية subtree الموجود على يسار العقدة x أصغر من x كما تكون جميع عقد الشجرة الفرعية الموجودة على يمينها أكبر من x.
- تتمتع أي عقدة x ضمن الكومة بـ"خاصية الكومة" أي تكون جميع عقد الشجرتين الفرعيتين للعقدة x أكبر من x.
- تتشابه الكومة مع أشجار البحث الثنائية المتزنة من جهة أنه عندما تضيف العناصر إليها أو تحذفها منها، فإنها قد تقوم ببعض العمل الإضافي لضمان استمرارية اتزان الشجرة، وبالتالي، يُمكِن تنفيذها بكفاءة باستخدام مصفوفة من العناصر.

دائمًا ما يكون جذر الكومة هو العنصر الأصغر، وبالتالي، يُمكِننا أن نعثر عليه بزمن ثابت. تستغرق إضافة العناصر وحذفها من الكومة زمنًا يتناسب مع طول الشجرة h، ولأن الكومة دائمًا ما تكون متزنة، فإن h يتناسب مع $\log n$. يُمكِنك قراءة المزيد عن الكومة لو أردت.

تُنفِّذ جافا الصنف `PriorityQueue` باستخدام كومة. يحتوي ذلك الصنف على التوابع المُعرَّفة في الواجهة `Queue` ومن بينها التابعان `offer` و `poll` اللّذان نلخص عملهما فيما يلي:

1. `offer`: يضيف عنصرًا إلى الرتل queue، ويُحدِّث الكومة بحيث يَضمَن استيفاء "خاصية الكومة" لجميع العقد. لاحِظ أنه يستغرق زمنًا يتناسب مع log n.
2. `poll`: يَحذِف أصغر عنصر من الرتل من الجذر ويُحدِّث الكومة. يستغرق أيضًا زمنًا يتناسب مع log n.

إذا كان لديك كائن من النوع `PriorityQueue`، تستطيع بسهولة ترتيب تجميعة عناصر طولها n على النحو التالي:

1. أضف جميع عناصر التجميعة إلى كائن الصنف `PriorityQueue` باستخدام التابع `offer`.
2. احذف العناصر من الرتل باستخدام التابع `poll` وأضفها إلى قائمة من النوع `List`.

نظرًا لأن التابع `poll` يعيد أصغر عنصر مُتبقٍّ في الرتل، فإن العناصر تُضاف إلى القائمة مُرتَّبةً تصاعديًّا. يُطلَق على هذا النوع من الترتيب اسم الترتيب بالكومة.

تستغرق إضافة عددٍ قدره n من العناصر إلى رتلٍ زمنًا يتناسب مع n log n، ونفس الأمر ينطبق على حذف عددٍ قدره n من العناصر منه، وبالتالي، تنتمي خوارزمية الترتيب بالكومة إلى المجموعة O(n log(n)).

ستجد ضمن الملف `ListSorter.java` تعريفًا مبدئيًا لتابع اسمه `heapSort`. أكمله ونفِّذ الأمر `ant ListSorterTest` لكي تتأكّد من أنه يَعمَل بشكل صحيح.

17.6 الكومة المُقيدّة Bounded heap

تَعمَل الكومة المقيدة كأي كومة عادية، ولكنها تكون مقيدة بعدد k من العناصر. إذا كان لديك عدد n من العناصر، يُمكِنك أن تحتفظ فقط بأكبر عدد k من العناصر باتباع التالي:

ستكون الكومة فارغة مبدئيًا، وعليك أن تُنفِّذ التالي لكل عنصر x:

- التفريع الأول: إذا لم تكن الكومة ممتلئةً، أضف x إلى الكومة.
- التفريع الثاني: إذا كانت الكومة ممتلئةً، وازن قيمة x مع أصغر عنصر في الكومة. إذا كانت قيمة x أصغر، فلا يُمكِن أن تكون ضمن أكبر عدد k من العناصر، ولذلك، يُمكِنك أن تتجاهلها.
- التفريع الثالث: إذا كانت الكومة ممتلئةً، وكانت قيمة x أكبر من قيمة أصغر عنصر بالكومة، احذف أصغر عنصر، وأضف x مكانه.

بوجود أصغر عنصر أعلى الكومة، يُمكِننا الاحتفاظ بأكبر عدد k من العناصر. لنحلل الآن أداء هذه الخوارزمية. إننا ننفِّذ ما يلي لكل عنصر:

- التفريع الأول: تستغرق إضافة عنصر إلى الكومة زمنًا يتناسب مع O(log k).
- التفريع الثاني: يستغرق العثور على أصغر عنصر بالكومة زمنًا يتناسب مع O(1).
- التفريع الثالث: يستغرق حذف أصغر عنصر زمنًا يتناسب مع O(log k)، كما أن إضافة `x` تستغرق نفس مقدار الزمن.

في الحالة الأسوأ، تكون العناصر مُرتَّبة تصاعديًا، وبالتالي، نُنفِّذ التفريع الثالث دائمًا، ويكون الزمن الإجمالي لمعالجة عدد n من العناصر هو O(n log K) أي خطّيّ مع n.

ستجد في الملف `ListSorter.java` تعريفًا مبدئيًا لتابع اسمه `topK`. يَستقبِل هذا التابع قائمةً من النوع `List` وكائنًا من النوع `Comparator` وعددًا صحيحًا `k`، ويعيد أكبر عدد k من عناصر القائمة بترتيب تصاعدي. أكمل متن التابع ثم نفِّذ الأمر `ant ListSorterTest` لكي تتأكّد من أنه يَعمَل بشكل صحيح.

17.7 تعقيد المساحة Space complexity

تحدثنا حتى الآن عن تحليل زمن التنفيذ فقط، ولكن بالنسبة لكثير من الخوارزميات، ينبغي أن نُولِي للمساحة التي تتطلّبها الخوارزمية بعض الاهتمام. على سبيل المثال، تحتاج خوارزمية الترتيب بالدمج merge sort إلى إنشاء نسخ من البيانات، وقد كانت مساحة الذاكرة الإجمالية التي تطلّبها تنفيذنا لتلك الخوارزمية هو O(n log n). في الواقع، يُمكِننا أن نُخفِّض ذلك إلى O(n) إذا نفذنا نفس الخوارزمية بطريقة أفضل.

في المقابل، لا تنسخ خوارزمية الترتيب بالإدراج insertion sort البيانات لأنها تُرتِّب العناصر في أماكنها، وتَستخدِم متغيراتٍ مؤقتةً لموازنة عنصرين في كل مرة، كما تَستخدِم عددًا قليلًا من المتغيرات المحلية local الأخرى، ولكن المساحة التي تتطلبها لا تعتمد على n.

تُنشِئ نسختنا من خوارزمية الترتيب بالكومة كائنًا جديدًا من النوع `PriorityQueue`، وتُخزِّن فيه العناصر، أي أن المساحة المطلوبة تنتمي إلى المجموعة O(n)، وإذا سمحنا بترتيب عناصر القائمة في نفس المكان، يُمكِننا أن نُخفِّض المساحة المطلوبة لتنفيذ خوارزمية الترتيب بالكومة إلى المجموعة O(1).

من مميزات النسخة التي نفَّذناها من تلك الخوارزمية هي أنها تحتاج فقط إلى مساحة تتناسب مع k (أي عدد العناصر المطلوب الاحتفاظ بها)، وعادةً ما تكون k أصغر بكثير من قيمة n.

يميل مطورو البرمجيات إلى التركيز على زمن التشغيل وإهمال حيز الذاكرة المطلوب، وهذا في الحقيقة، مناسب لكثير من التطبيقات، ولكن عند التعامل مع بيانات ضخمة، تكون المساحة المطلوبة بنفس القدر من الأهمية إن لم تكن أهم، كما في الحالات التالية مثلًا:

1. إذا لم تكن مساحة ذاكرة البرنامج ملائمةً للبيانات، عادةً ما يزداد زمن التشغيل إلى حد كبير وقد لا يَعمَل البرنامج من الأساس. إذا اخترت خوارزمية تتطلّب حيزًا أقل من الذاكرة، وتَسمَح بملائمة المعالجة ضمن

الذاكرة، فقد يَعمَل البرنامج بسرعةٍ أعلى بكثير. بالإضافة إلى ذلك، تَستغِل البرامج الـتي تتطلَّب مسـاحة ذاكرة أقل الذاكرة المؤقتة لوحدة المعالجة المركزية CPU caches بشكل أفضل وتَعمَل بسرعة أكبر.

2. في الخوادم التي تُشغِّل برامج كثيرة في الوقت نفسـه، إذا أمكنـك تقليـل المسـاحة الـتي يتطلبهـا كـل برنامج، فقـد تتمكّن من تشـغيل بـرامج أكـثر على نفس الخـادم، ممـا يُقلـل من تكلفـة الطاقـة والعتـاد المطلوبة.

كانت هذه بعض الأسباب التي توضح أهمية الاطلاع على متطلبات الخوارزميات المتعلقة بالذاكرة.

يمكنك التوسع أكثر في الموضوع بقراءة توثيق خوارزميات الترتيب في توثيق موسوعة حسوب.

أكبر موقع توظيف عن بعد في العالم العربي

ابحث عن الوظيفة التي تحقق أهدافك وطموحاتك
المهنية في أكبر موقع توظيف عن بعد

تصفح الوظائف الآن

أحدث إصدارات أكاديمية حسوب